

Ilmastonmuutos Suomenlinnassa

**Selvitys ilmastonmuutoksen vaikutuksista aineelliseen kulttuuri-
perintöön**

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK), Kestävä kaupunkiympäristö

2022

Juha Rajaharju

Tiivistelmä

Tekijä(t) Rajaharju, Juha	Julkaisun laji Opinnäytetyö, YAMK	Valmistumisaika 2022
	Sivumäärä 79	Liitesivuja 24
Työn nimi Ilmastonmuutos Suomenlinnassa Selvitys ilmastonmuutoksen vaikutuksista aineelliseen kulttuuriperintöön		
Tutkinto Insinööri (YAMK)		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Eeva Aarrevaara, Yliopettaja, LAB AMK Teknologia Paul Carroll, Opettaja, LAB AMK Teknologia		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Miia Perkkiö, restaurointipäällikkö, Suomenlinnan hoitokunta		
Tiivistelmä <p>Tämän työn tavoite oli tutkia ilmastonmuutoksen aiheuttamia vaikutuksia Suomenlinnan aineelliselle kulttuuriperinnölle. Tutkimus rajattiin olemassa olevan tutkimustiedon mukaisesti koskemaan 2000-luvun ensimmäistä vuosisataa. Työssä oli tarkoitus kategorisoida Suomenlinnan aineellinen kulttuuriperintö ja koostaa ilmastonmuutoksen siihen kohdistamat vaikutukset yhteen. Tutkimuksen lopputuloksena oli tarkoitus tuottaa esiselvityksen tyyppinen raportti tutkittavan ilmiön tapauskohtaisista vaikutuksista tutkimuskohteeseen.</p> <p>Työn tietoperustana toimi ajantasainen tutkimustieto ilmastonmuutoksesta, jota sovellettiin Suomenlinnan maantieteelliseen sijaintiin. Suomenlinnan hoitokunnan, Museoviraston ja Ilmatieteidenlaitoksen asiantuntijoiden tietoa ja näkemyksiä tutkittavasta aiheesta selvitettiin puolistrukturoidun haastattelun avulla. Vertailevaa arviointia ilmastonmuutoksen vaikutuksista Rjukan-Notoddenin ja Bryggenin maailmanperintökohteisiin suoritettiin aiheesta tehdyn tutkimusraportin ja seminaaritallenteen avulla.</p> <p>Ilmastonmuutoksella on merkittäviä vaikutuksia Suomenlinnan aineelliseen kulttuuriperintöön. Erityisesti merenpinnan nousu, lisääntyvä kosteus ja sateisuus, sekä keskilämpötilan nousu muodostavat uhan kulttuuriperinnön säilymiselle. Vaikutukset kohdistuvat selkeimmin maisemaan, linnoitteisiin, rakennuksiin, infrastruktuuriin ja muinaismuistoihin. Esiselvityksen pohjalta on mahdollista lähteä kartoittamaan tarvittavia toimia muutoksiin varautumiseksi ja suunnittelemaan syventäviä jatkotutkimuksia.</p>		
Asiasanat Ilmastonmuutos, kasvihuonekaasu, maailmanperintökohde, kulttuuriperintö.		

Abstract

Author(s) Rajaharju, Juha	Type of Publication Thesis, MUAS	Published 2022
	Number of Pages 79	Pages of appendices 24
Title of Publication Climate Change in Suomenlinna Study on the effects of climate change on the tangible cultural heritage		
Name of Degree Engineer (MUAS)		
Name, title and organization of the supervising teacher Eeva Aarrevaara, Senior lecturer, LAB UAS Technology Paul Carroll, Lecturer, LAB UAS Technology		
Name, title and organization of the client Miia Perkkiö, Restoration manager, The Governing Body of Suomenlinna		
Abstract <p>The aim of this work was to study the effects of climate change on tangible cultural heritage in Suomenlinna. According to the existing research data, the study was limited to the 21st century time frame. The purpose of the work was to categorize the tangible cultural heritage of Suomenlinna and create an overview of the effects of climate change on it. The aim of the study was to produce a preliminary study-type report on the case-specific effects of the studied phenomenon on the research subject.</p> <p>The knowledge base of the work was up-to-date research data on climate change, which was applied to the geographical location of Suomenlinna. The new information was gathered through semi-structured interviews of experts from the Governing body of Suomenlinna, Finnish Heritage Agency and the Finnish Meteorological Institute. A comparative assessment of the effects of climate change on the Rjukan-Notodden and Bryggen World Heritage Sites was carried out by using a research report and a seminar recording dealing about the subject.</p> <p>Climate change has significant effects on tangible cultural heritage in Suomenlinna. Particularly, rising sea level, increasing humidity and rainfall, and rising average temperature pose a threat to the preservation of cultural heritage. The effects are most pronounced on the landscape, fortifications, buildings, infrastructure, and ancient monuments. Based on this study, it is possible to identify the measures needed to prepare for the changes and to plan in-depth further studies.</p>		
Keywords Climate change, greenhouse gas, world heritage site, cultural heritage.		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Selvityksen lähtökohdat	3
2.1	Tausta	3
2.2	Tarkoitus ja tavoitteet.....	7
3	Selvityksen teoreettinen viitekehys	8
3.1	Tieteellinen tieto	8
3.2	Ilmasto.....	8
3.2.1	Ilmastonmuutos	11
3.2.2	Ilmakehä.....	12
3.2.3	Kasvihuoneilmiö	14
3.2.4	Kasvihuonekaasut	15
3.2.5	Hiilidioksidi.....	17
3.3	Skenaario- ja ilmastomallit	17
3.4	Kulttuuriperintö	20
4	Toimintaympäristö	22
4.1	Suomenlinna.....	22
4.2	Suomenlinnan hoitokunta	24
4.3	Maailmanperintökohde	24
4.4	Suomenlinnan kulttuuriperintö	25
5	Aineisto ja menetelmät.....	32
5.1	Tutkimusmenetelmät	32
5.2	Haastattelun toteutus.....	33
5.3	Muu tutkimusaineisto	37
6	Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmasto-olosuhteisiin Suomessa.....	38
6.1	Lämpötila.....	38
6.1.1	Keskilämpötila	38
6.1.2	Roudan määrä.....	40
6.1.3	Jään määrä	41
6.1.4	Merenpinnan taso.....	42
6.2	Sateisuus.....	43
6.2.1	Sademäärä.....	44
6.2.2	Lumipeite.....	46
6.3	Kuivuus.....	47
6.3.1	Auringonsäteily	47

6.3.2	Maaperän kosteus	49
6.4	Ilmanpaine	51
6.4.1	Tuulisuus	52
6.4.2	Myrskyt ja rajuilmat	54
6.5	Yhteenvedo ilmastonmuutoksen vaikutuksista	57
7	Tulokset	58
7.1	Maisema	58
7.2	Linnoitteet	61
7.3	Artefaktit	63
7.4	Infrastruktuuri	64
7.5	Rakennukset	66
7.6	Meri	68
8	Tulosten vertailu Rjukan-Notoddenin ja Bryggenin maailmanperintökohteisiin	70
8.1	Rjukan-Notodden	70
8.2	Bryggen	73
9	Johtopäätökset ja pohdinta	76
	Lähteet	80

Liitteet

Liite 1. S1 suojelualueet

Liite 2. S2 suojelualueet

Liite 3. S3 suojelualueet

Liite 4. Rakennus- ja kohdeluettelo

Liite 5. Haastattelun teemarunko

Liite 6. Suomenlinnan aineellisen kulttuuriperinnön jaottelu

Liite 7. Haastatteluiden purettu ja pelkistetty tutkimusmateriaali

1 Johdanto

Olosuhteet maapallon pinnalla ovat mahdollistaneet elämän alkamisen ja evoluution kautta suuren lajikirjon omaavat monimuotoiset ekosysteemit. Suosiollisiin olosuhteisiin ovat vaikuttaneet maapallon kiertoradan etäisyys auringosta, sen akselin kallistuma ja maapallolle muodostunut ilmakehä. Maan ilmakehä sisältää luontaisesti kaasuja, jotka osittain estävät auringon maahan säteilemää lämpöenergiaa karkaamasta avaruuteen. Näitä kaasuja kutsutaan kasvihuonekaasuiksi, sillä ne toimivat lämpöeristeinä ilmakehässä kasvihuoneen laiseinien tavoin. Kasvihuonekaasuihin lukeutuvat vesihöyry, hiilidioksidi, typpioksidi ja metaani. Saapuvan lämpösäteilyn ja poistuvan lämpösäteilyn välistä vuorovaikutussuhdetta kutsutaan kasvihuoneilmäksi silloin kun sillä on ilmastoa lämmittävä vaikutus. (Kweku, Bismark, Maxwell, Desmond, Danso, Oti-Mensah, Quachie & Adormaa 2018, 2.)

Ihmisen toimintaa pidetään merkittävimpana tekijänä kasvihuonekaasujen lisääntymiseen ilmakehässä (Kerkkänen 2010, 25). Teollisesta vallankumouksesta alkanut fossiilisten polttoaineiden käyttö energian tuotannossa on lisännyt ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta 40 %. Yli puolet tästä lisääntyneen hiilidioksidin määrästä on vapautunut ilmakehään 1970-luvulta lähtien. Maan pintalämpötila on noussut keskimääräisesti 1 °C verran vuoteen 1900 verrattuna. Suurin osa tästä lämpenemisestä on tieteellisen tutkimusten perusteella johtunut kasvihuonekaasujen lisääntymisestä ilmakehässä ja on tapahtunut viimeisten viiden vuosikymmenen aikana. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa merkittäviä muutoksia maapallon elinolosuhteisiin. Näihin kuuluvat muun muassa arktisen jäämassan sulaminen, meren happamoituminen ja merenpinnan nouseminen sekä sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen. Ilmaston lämpeneminen jatkuu tulevina vuosikymmeninä, vaikka kasvihuonekaasujen päästöt nyt lopetettaisiin kokonaan. (Wolff, Fung, Hoskins, Mitchell, Palmer, Santer, Shepherd, Shine, Solomon, Trenberth, Walsh & Wuebbles 2020, 2.)

Ilmaston lämpenemisen aiheuttamat muutokset koskettavat kaikkea elämää ja toimintaa maapallolla. Vaikutukset kohdistuvat vakavasti myös ihmiskunnan yhteiseen kulttuuriperintöön, jonka suojelemiseksi on laadittu kansainvälinen yleissopimus vuonna 1972. Yhdistyneiden Kansakuntien perustama kasvatus-, tiede- ja kulttuurijärjestö, Unesco, vastaa näiden maailmanperintökohteiden hallinnoimisesta. Maailmanperintökohteiden katsotaan edustavan universaalisti merkittäviä arvoja, joiden säilyminen tuleville sukupolville halutaan turvata. Kohteet voivat olla, aineellisia tai aineettomia, ihmisen aikaansaamia kulttuurin ilmentymiä tai luonnon muovaamia alueita. Vuonna 2017 Museoviraston tilaaman suomalaisen kulttuuriperintöbarometri-tutkimuksen vastaajista 87 % piti kulttuuriperinnön säilyttämistä tärkeänä tai melko tärkeänä asiana (Museovirasto 2017).

Tässä työssä keskityttiin selvittämään tapauskohtaisesti ilmaston muutoksen aiheuttamia vaikutuksia Suomenlinnan maailmanperintökohteen aineelliseen kulttuuriperintöön. Suomenlinna on historiallinen linnoitussaaari Helsingin kaupungin edustalla, jota hallinnoi ja ylläpitää opetus- ja kulttuuriministeriön alainen valtion virasto, Suomenlinnan hoitokunta. Suomenlinna ilmentää 1600- ja 1700-lukujen historiallisia linnoitusperiaatteita, sekä Ruotsista, Venäjältä ja Ranskasta peräisin olevaa arkkitehtuuria. Suomenlinnan katsotaan edustavan maailmankulttuuriperinnön kannalta merkittävän historiallisen aikakauden rakennus- ja linnoitusperintöä ja on saarineen osa Helsingin merellistä maisemaa. Suomenlinna on myös aktiivinen kaupunginosa vakituisine asukkaineen ja kesäisin Helsingin suosituimpia turistikohteita, jossa vierailaan usein niin suomalaisten kuin ulkomaistenkin matkailijoiden toimesta.

Tutkimuksen kohteena olivat Suomenlinnan aineellinen kulttuuriperintö ja ilmastonmuutoksen siihen kohdistamat vaikutukset. Tutkimuksen näkökulmaksi valittiin aihealueen esiselvitys, jolloin tavoitteena oli hahmottaa kokonaisuus yleistävällä tasolla. Työn tarkoituksena oli tuottaa raportti ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomenlinnan aineelliseen kulttuuriperintöön, jonka pohjalta tarkempia tapauskohtaisia tutkimuksia voidaan jatkossa suunnitella. Työ suoritettiin Suomenlinnan hoitokunnalle. Vuonna 2017 julkistetun tutkimuksen mukaan ilmastonmuutoksen vaikutuksista kulttuuriperintöön eri mantereilla oli julkaistu tutkimusmateriaalia suhteellisen vähän sosioekonomiseen tai ekologiseen tutkimukseen verrattuna (Fatorić & Seekamp 2017).

Työn tietopohja perustuu ilmastonmuutoksesta tuotettuun tutkimusmateriaaliin. Ilmastonmuutoksen tulevaisuutta koskevan tutkimusmateriaalin ja -tiedon julkaisuajankohdan sallittiin olla maksimissaan kuusi vuotta vanhaa. Tämä linjaus noudattaa hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) ilmastonmuutosta koskevien raporttien julkaisuväliä ja valtioneuvoston kansallisen ilmatoriskiraportin suositusta kehityksen seuraamiseksi ja tietopohjan varmistamiseksi (Tuomenvirta, Haavisto, Hildén, Lanki, Luhtala, Meriläinen, Mäkinen, Parjanne, Peltonen-Sainio, Pilli-Sihvola, Pöyry, Sorvali & Veijalainen 2018, 68). Tästä linjauksesta poikettiin ainoastaan silloin kun aikamääreen mukaista tietoa ei ollut saatavilla. Tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomenlinnan aineellisesta kulttuuriperintöön kerättiin haastatteleamalla aihealueen asiantuntijoita. Haastattelumetodina käytettiin puolistrukturoitua haastattelua, joka mahdollisti laajemman informaatiopohjan keräämisen. Tuloksia käsiteltiin tässä työssä muodostetun Suomenlinnan kulttuuriperinnön jaottelun mukaisesti. Lopuksi tuloksia verrattiin kahteen Norjassa sijaitsevaan maailmanperintökohteeseen, jotka vastasivat leveyspiirin mukaiseltaan sijainniltaan Suomenlinnaa. Työ suoritettiin pääosin vuoden 2021 aikana. Kuvat ja kuviot, joissa ei erikseen mainita lähdettä, ovat työn tekijän itse tuottamia.

2 Selvityksen lähtökohdat

2.1 Tausta

Kansainvälisen tason toimijoista Unescon maailmanperintökeskus käynnisti vuonna 2005 kyselytutkimuksen jäsenvaltioilleen ilmastonmuutoksen vaikutuksista maailmanperintökohteisiin. Saaduista 110 vastauksesta 83 ilmoitti ilmastonmuutoksella olevan vaikutuksia heidän luonto- ja kulttuuriperintöönsä. Kaiken kaikkiaan 125 maailmanperintökohdetta mainittiin erityisen alttiiksi ilmastonmuutokselle. Kulttuuriperintökohteita tutkimuksessa raportoitiin 46 kappaletta joista 42 olivat ihmisen luomia rakenteita kuten arkeologisia raunioita, kirkkoja, temppelitä ja linnoituksia. Kulttuurimaisemat muodostivat loput 4 kohdetta. Vastauksissa maailmankulttuuriperintökohteisiin kohdistuvia uhkia olivat: (UNESCO World Heritage Centre 2007, 26.)

- Hurrikaanit ja myrskyt 11 kohdetta
- Merenpinnan nousu 9 kohdetta
- Eroosio 8 kohdetta
- Tulvat 7 kohdetta
- Sateiden lisääntyminen 4 kohdetta
- Kuivuus 3 kohdetta
- Aavikoituminen 2 kohdetta
- Lämpötilan nousu 1 kohde

Unescon maailmanperintökomitea nimesi ilmastonmuutoksen yhdeksi vakavimmista uhista maailmanperintökohteille 29. istunnossaan vuonna 2006. Maailmanperintökomitea käynnisti samalla selvitystyön ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointia varten ja määritelläkseen hallinnolliset keinot uhkiin vastaamiseksi. Selvitystyön pohjalta laadittiin strategia ja raportti maailmanperintösopimukseen liittyneiden valtioiden avustamiseksi ilmastonmuutoksen aiheuttamien uhkien torjunnassa ja niihin sopeutumisessa. Maailmanperintökomitean 30. istunto hyväksyi asiakirjat heinäkuussa 2006 ja Unesco julkaisi raportin maaliskuussa 2007. (UNESCO World Heritage Centre 2007, 3.)

Raportissa nostettiin esille tärkeä kysymys maailmanperintökohteiden universaalien arvojen vaarantumisesta ilmastonmuutoksen seurauksena. Hyviä esimerkkejä tästä ovat

jäätiköiden sulaminen, rannikoiden ekosysteemien jääminen nousevan meriveden alle ja luonnon monimuotoisuuden väheneminen. Muutokset voivat pahimmillaan vaikuttaa maailmanperintökohteiden vähentymiseen. Raportti painottaa, että tutkittaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia maailman kulttuuriperintöön, on otettava huomioon monimutkaiset vuorovaikutussuhteet luonnon, kulttuurin ja yhteiskunnan välillä sekä niiden sisällä. Ilmastonmuutoksella on fyysisiä, sosiaalisia ja kulttuurillisia vaikutuksia maailmanperintöön ja se muuttaa ihmisten kokemusta ympäristöstänsä sekä suhtautumista siihen. Raportin mukaan on tärkeää tutkia ja hahmottaa näitä yhteisvaikutuksia perusteellisemmin. (UNESCO World Heritage Centre 2007, 23–24, 27.)

Suomen kansallinen energia- ja ilmastostrategia ei suoranaisesti huomioi kulttuuriympäristöä tai kulttuuriperintöä erillisenä toimenpidekohteena. Viimeisin Valtioneuvoston selonteko aiheesta on julkaistu vuonna 2016 ja siinä viitataan rakennettuun ympäristöön seuraavasti:

Maankäyttö- ja rakennuslain tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen siten, että niillä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle sekä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävää kehitystä. Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet ovat osa maankäyttö- ja rakennuslain mukaista alueidenkäytön suunnittelujärjestelmää. (Valtioneuvosto 2016, 34.)

Työ- ja elinkeinoministeriö on käynnistänyt uuden ilmasto- ja energiastrategian valmistelun huhtikuussa 2020. Strategian valmistelun tueksi on aloitettu valtioneuvoston rahoittama laaja taustaselvitys, HIISI-hanke. Selvityksessä on mukana SOVA-lain mukaisena ympäristövaikutuskohteena erikseen kulttuuriperintö (Laki viranomaisten suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arvioinnista 200/2005, 2 §).

SOVA-laissa ympäristövaikutuksella tarkoitetaan suunnitelman tai ohjelman välitöntä ja välillistä vaikutusta Suomessa ja sen alueen ulkopuolella:

- a. ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen;*
- b. maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen, eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen;*
- c. yhdyskuntarakenteeseen, rakennettuun ympäristöön, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön;*
- d. luonnonvarojen hyödyntämiseen;*
- e. a–d alakohdassa mainittujen tekijöiden keskinäisiin vuorovaikutussuhteisiin (VTT Technology 2020, 103.)*

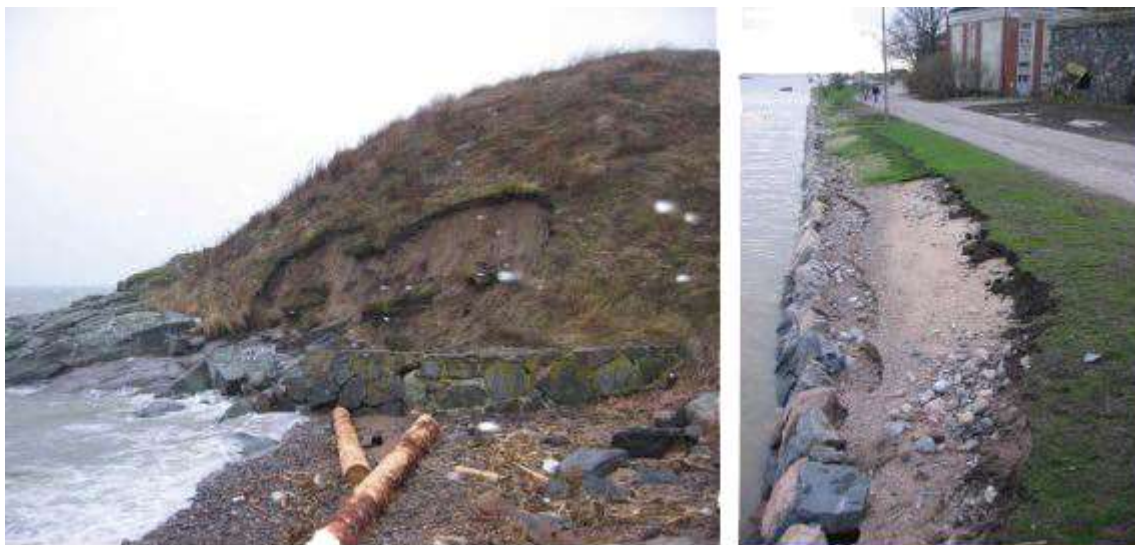
Hanketta koordinoi Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, joka työskentelee yhdessä Suomen ympäristökeskuksen, Luonnonvarakeskuksen, Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksen ja Pellervon taloustutkimuksen kanssa. Strategiassa linjattavissa poliittisissa toimituksissa ja niihin pohjautuvissa skenaarioissa käytetään perustana EU:n vuodelle 2030 asettamien ilmastotavoitteiden saavuttamista ja hallitusohjelmaan kirjattua hiilineutraalius tavoitetta vuodelle 2035. Strategian suunniteltu valmistuminen ajoittuu kesään 2021 ja se luovutetaan selontekona eduskunnalle syksyllä 2021.

Helsingin kaupunki teetti vuonna 2018 selvityksen sään ja ilmastomuutoksen aiheuttamista riskeistä Helsingin alueelle. Selvityksessä toimi asiantuntijatahona myös Ilmatieteenlaitos Helsingin kaupungin toimeksiannosta ja selvityksen loppuraportti julkaistiin kesäkuussa 2018. Raportti kokosi yhteen ajantasaisen tutkimustiedon sekä kaupungin asiantuntijoiden näkemykset keskeisistä sään ja ilmastomuutoksen kaupungille aiheuttamista riskeistä. Raportin on tarkoituksena toimia kaupunkisuunnittelua ohjaavana tietopohjana sekä nostaa esille kohteita, jotka tarvitsevat tarkempaa tutkimusta. Raportissa todetaan Helsingin tärkeimpien ilmastoriskien olevan tulevaisuudessa todennäköisesti tulvat ja sekä äärimmäiset talviolosuhteet. Myös Helsingin luontoon kohdistuvat riskit ovat huomattavia, kun kaupunkikehityksen luontoalueille aiheuttama rasite on muutenkin nousussa. Ilmastomuutoksen aiheuttamat riskit suositellaan raportissa lisättäväksi päätöksentekoon kaikille kaupunkisuunnittelun ja kehittämisen tasoille. (Pilli-Sihvola, Haavisto, Leijalta, Luhtala, Mäkelä, Ruuhela & Votsis 2018, 4.)

Selvityksen mukaan vuodenaajoista talvien ilmasto muuttuu eniten ilmastomuutoksen seurauksena. Keskilämpötilojen nousu on talvisin suurinta ja sademäärät sekä pilvisuus tulevat lisääntymään. Kylmät jaksot talvella tulevat vähenemään ja Suomenlahden jääpeite tulee heikkenemään niin laajuudeltaan kuin paksuudeltaankin. Talvet ovat tulevaisuudessa pimeämpiä, kosteampia ja sade tulee maahan suuremmissa määrin vetenä. Lisääntyvien sademäärien takia hulevedet aiheuttavat tulvariskejä yhdessä meriveden nousevan pinnan kanssa ja nostavat Itämeren ravinnekuormitusta. Rajuilmojen ja myrskytuulen aiheuttamien riskien ei raportissa katsota nousevan merkittävästi. Eteläisten kasvitautilien ja tuholaishyönteisten leviäminen Helsingin alueelle katsotaan jo käynnissä olevaksi muutokseksi. Samalla alkuperäinen lajiston elinolosuhteisiin aiheuttaa painetta ilmastomuutoksen lisäksi alueelle levittäytyvät vieraslajit. (Pilli-Sihvola ym. 2018, 5–7.) Suomenlinna osoitetaan raportissa yhdeksi Helsingin meritulvariskikohteeksi mutta nostetaan esille uusien kartoitusten tarpeellisuutta ilmaston muuttuessa tulevaisuudessa (Pilli-Sihvola ym. 2018, 40–41). Myös maanalaisten tilojen, kuten Suomenlinnaan johtavan maanalaisen tunnelin, merkitystä tulvariskien arvioinneissa korostetaan (Pilli-Sihvola ym. 2018, 29).

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2008 raportin ilmastonmuutoksen kulttuuriympäristölle aiheuttamista muutoksista. Raportti oli osa vuonna 2007 alkanutta pohjoismaista Effekter av klimaendringer på kulturminner og kulturmiljø hanketta, jonka tavoitteena oli tunnistaa ilmastonmuutoksen vaikutuksia kulttuuriympäristöön ja levittää sitä tietoa eteenpäin. Ympäristöministeriön rahoituksella Suomessa toteutetussa hankkeessa olivat mukana Metsähallitus ja Museovirasto. Raportin tietopohja perustuu suurelta osin haastatteluilla saatuihin asiantuntijanäkemyksiin. (Berghäll & Pesu 2008, 19.)

Suomenlinnaa on käsitelty raportissa erillisenä kohteena. Ilmastonmuutoksen vaikutuksista merenpinnan nousua ei raportissa pidetty merkittävänä uhkana Suomenlinnalle maankohoamisen johdosta. Tekijät kuitenkin toteavat, että mikäli merenpinta kuitenkin nousee, on sillä negatiivisia vaikutuksia Suomenlinnan maailmanperintökohteelle (Kuva 1 ja Kuva 2). Merenpinnan tilapäinenkin nousu +1,50–1,60 tasolle aiheuttaa vahinkoja rantarakenteille, joita pahentavat mahdollinen korkea aallokko. Jo maltillisempi nousu +1,30–1,40 tasolle vaikeuttaa saaren huolto- ja henkilöliikennettä. Myös saaren kuivatelakka on alttiina meriveden nousulle, mikäli vesi pääsee tulvimaan sulkuporttien yli telakan altaaseen. Raportissa todetaan sään ääri-ilmiöiden lisäävän riskiä puuston ja rakennusten myrskyvaurioille. Lämpimien talvien osalta erilaisten puuta lahottavien organismien lisääntyminen saattaa heikentää Suomenlinnan rakennuskannan kuntoa. Kivimuurien, tiilijulkisivujen ja rapattujen rakenteiden osoitetaan kärsivän lämpötilan tiheästä heittelystä nollan asteen molemmin puolin. Eroosion odotetaan lisääntyvän kesien kuivumisen takia. Turistien liikkuminen saarella ja aluskasvillisuuden vähentyminen kuivuuden takia lisäävät hiekkavallien eroosiota. (Berghäll & Pesu 2008, 19.)



Kuvat 1 ja 2. Talvimyrskyn aiheuttamia vahinkoja Suomenlinnassa tammikuussa 2005 (Berghäll & Pesu 2008, 19.)

2.2 Tarkoitus ja tavoitteet

Työn tarkoituksena oli vasta tutkimuskysymykseen: millä tavoin ilmastonmuutos vaikuttaa Suomenlinnan aineelliseen kulttuuriperintöön 2000-luvun ensimmäisellä vuosisadalla? Tavoitteena oli luoda kokonaiskuva Suomenlinnan aineellisesta kulttuuriperinnöstä ja siihen kohdistuvista ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Tutkimuskysymykseen pyritään vastaamaan olemassa olevan tutkimustiedon ja haastatteluilla kerätyn uuden tiedon avulla. Työssä saavutettua tietoa oli tarkoitus käsitellä valitun aineistoanalyysimetodin avulla ja luokitella sitä loogiseksi kokonaisuudeksi. Luokittelun avulla vaikutukset haluttiin esittää ilmastollisten muuttujien perusteella.

Työn teoreettiseksi tietopohjaksi valikoitiin ilmastonmuutoksesta tuotettua tutkimusmateriaalia ja vertaisarvioituja tieteellisiä tutkimuksia. Ilmastonmuutoksen projisoituja vaikutuksia koskevan tutkimusmateriaalin ja -tiedon julkaisujankoa määriteltiin niin, että sen sallittiin olla maksimissaan kuusi vuotta vanhaa. Ajallinen linjaus noudattaa hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) ilmastonmuutosta koskevien raporttien julkaisuväliä ja valtioneuvoston kansallisen ilmastoriskiraportin suositusta kehityksen seuraamiseksi ja tietopohjan varmistamiseksi (Tuomenvirta ym. 2018, 68).

Ilmastonmuutoksen vaikutusten aikajänteenä selvityksessä käytettiin ilmastotutkimuksessa yleisesti sovellettua rajausta, jossa projisoidut vaikutukset ulottuvat kuluvan vuosisadan vaihteeseen asti (ICCP 2014). Ilmastomallien tuottamat arviot erilaisille kasvihuonepäästöjen kehityskuluille huomioitiin työn teoreettisessa osuudessa. Selvitystyön lopputuotoksena oli tarkoitus luoda kattava raportti Suomenlinnan aineellisen kulttuuriperinnön kohtaamista vaikutuksista ilmastonmuutoksen seurauksena vuoteen 2100 mennessä. Tavoite pyrittiin saavuttamaan seuraavien osatavoitteiden avulla.

- 1. Tunnistamalla tutkittavan kohteen aineellinen kulttuuriperintö*
- 2. Muodostamalla kokonaiskuva ilmastonmuutoksen alueellisista vaikutuksista*
- 3. Selvittämällä vaikutusten relevanssi Suomenlinnan kulttuuriperintöön*
- 4. Vertailemalla tuloksia toiseen maailmanperintökohteeseen*

Selvitystyössä on tehty tiivistä yhteistyötä Suomenlinnan hoitokunnan ja LAB-ammattikorkeakoulun kanssa työn ohjauksen osalta. Selvitystyön tuottama tieto on tarkoitettu Suomenlinnan hoitokunnan käyttöön jatkotutkimuksia ja sopeutumistyön organisointia varten. Selvitystyö ja haastattelut Suomenlinnan hoitokunnan, Museoviraston ja Ilmatieteenlaitoksen asiantuntijoille suoritettiin vuoden 2021 aikana.

3 Selvityksen teoreettinen viitekehys

3.1 Tieteellinen tieto

Tieteellä tavoitellaan tietoa ja ymmärrystä luonnollisesta ja sosiaalisesta maailmasta sekä saavutetun tiedon edelleen soveltamista. Tieteellisen tiedon tulee perustua näyttöön, joka on tuotettu systemaattisen metodologian avulla. Tieteellisen tiedon tulee noudattaa tieteellisen tiedon tuottamisen tapaa ja täyttää sen tunnusmerkit.

Tieteellisen tutkimuksen ja tiedon tunnusmerkit tiivistäen ovat:

1. *Perusteltavuus*
2. *Julkisuus ja yhteisesti rakentaminen ja sopiminen (intersubjektiivisuus)*
3. *Kriittisyys, itsensä korjaavuus, autonomisuus*
4. *Edistyvyys*

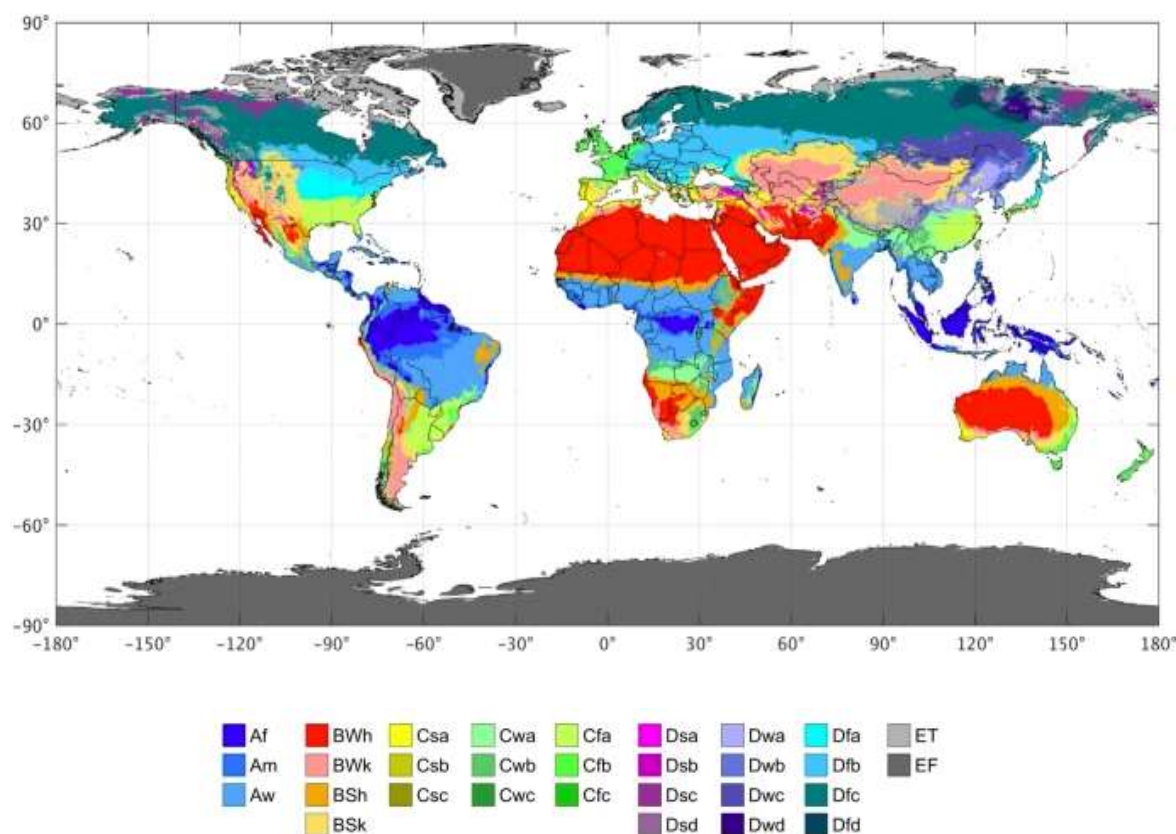
Tiedon tulee olla tieteellisten menetelmien avulla perusteltua ja julkista, sekä kaikille avointa että helposti saavutettavissa. Kieleltään tiedon tulee olla ymmärrettävää ja loogista. Tietoon tulee suhtautua kriittisesti ja saavutetut tulokset on ymmärrettävä ehdollisiksi. Tiedeyhteisön yhteistyöllä tiedon todenperäisyyden varmistaminen ja korjaaminen tapahtuu avoimesti ja autonomisesti. Edistyvyydellä tavoitellaan tieteellisen tiedon pyrkimystä totuuden saavuttamisesta tiedeyhteisön sovittujen normien ja käytäntöjen mukaisesti. (Niiniluoto 1984, 21–30.)

3.2 Ilmasto

Ilmasto käsitteenä koostuu yksittäisten säätapahtumien tietyllä aikavälillä muodostamasta keskiarvosta. Ilmastot voidaan luokitella yksinkertaistaen mantereisiin ja merellisiin ilmastoihin. Mantereisille ilmastoille tyypillistä on suuret lämpötilan vaihtelut ja merellisille suhteellisen pienet. Suomen ilmasto sisältää neljä selkeää vuodenaikaa ja piirteitä sekä mantereisesta että merellisestä ilmastosta. Tämän takia sitä kutsutaan niin sanotuksi väli-ilmastoksi. Koska ilmastot vaihtelevat todellisuudessa tätä jakoa paljon enemmän, on tarkempia jaotteluita tehty kuvaamaan paremmin maapallon eri ilmasto-oloja. Yleisimmin käytetty ilmastojen luokittelumalli on Köppenin ilmastoluokitus, joka on alun perin kehitetty noin vuonna 1900 ja myöhemmin kokenut joitakin muutoksia. (Saukkonen 2020, 10–16.)

Köppenin ilmastoluokitus perustuu alueella esiintyviin kasvillisuuden tyyppeihin ja kuukausikeskiarvolla jaoteltuun lämpötilaan sekä sademäärään. Ilmasto on jaettu viiteen pääluokkaan, joista jokainen jakautuu alaluokkiin sateisuuden ja lämpötilan mukaan (Kuvio 1). A tarkoittaa trooppisia ilmastoja, B kuivia ilmastoja, C lauhkeita ilmastoja, D kylmätalvisia ilmastoja ja E jääilmastoja. Köppenin ilmastoluokituksen mukaan Suomi kuuluu ilmastotyyppiin Dfc-kategoriaan, joka tarkoittaa subarktista mannerilmastoa. Kyseisessä ilmastossa kesät ovat viileitä sekä lyhyitä ja talvet kylmiä, että kosteita. Ilmastonmuutoksen aiheuttama lämpeneminen on voimakkaampaa pohjoisessa kuin etelässä ja se on tulevaisuudessa otettava huomioon Suomen ilmastoluokkien määrittelyssä. (Saukkonen 2020, 10–16.)

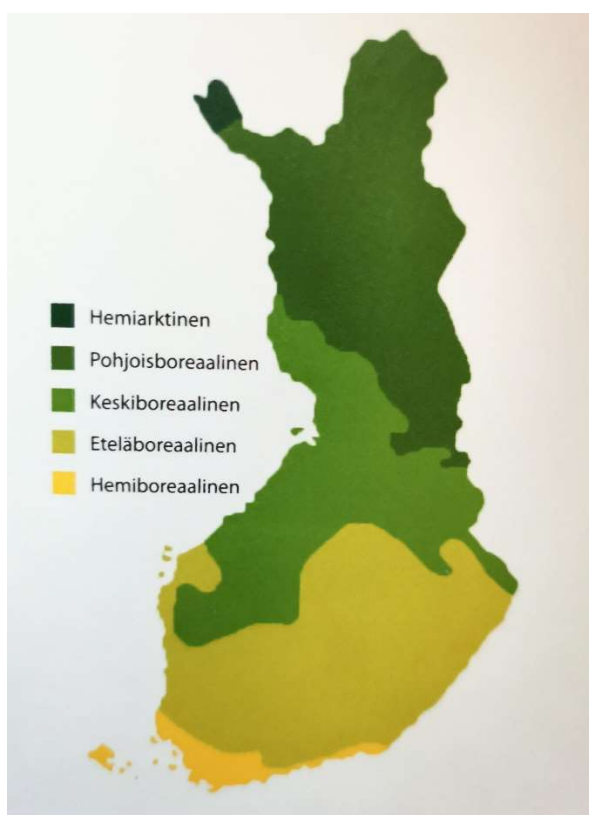
Vuoden aikajänteellä mitatut keskilämpötilat vaihtelevat Suomessa paljon. Tämän takia Suomen ilmastollisia olosuhteita kuvataan 30 vuoden keskiarvoilla. Näin vuotuisten vaihteluiden aiheuttama hajonta tasoittuu ja jäljelle jää ilmastollinen tieto. 30 vuoden keskiarvot lasketaan aina 10 vuoden välein ja näitä jaksoja nimitetään vertailukaudeksi. (Saukkonen 2020, 20.)



Kuvio 1. Köppenin ilmastoluokittelu (Beck, Zimmermann, McVicar, Vergopolan, Berg, Wood 2018)

Suomen ilmaston tarkemmassa luokittelussa voidaan erotella viisi pääluokkaa (Kuvio 2).

- Hemiborealisella vyöhykkeellä esiintyy lehtimetsävyöhykkeen eläin- ja kasvilajistoa eniten. Kasvukausi on riittävän pitkä tammen menestymiselle.
- Eteläborealisella vyöhykkeellä on runsaasti puustoa ja se vaikuttaa alueen ilmastoon. Kesän pituus ja lämpö kuivattaa maata niin että soita on vain laaksoissa.
- Keskiborealisella vyöhykkeellä puusto on selvästi vähäisempää ja soita on runsaasti. Viljelyyn sopiva alue rajoittuu tähän vyöhykkeeseen ja yöpakkasia voi esiintyä myös kesällä.
- Pohoisborealisella vyöhykkeellä kesäaika on lyhyt sekä viileä, jolloin pohjavesi on lähellä maan pintaa. Läpi kesän veden vallassa olevia aapasoita on alueella paljon. Metsät kasvavat vyöhykkeellä hitaasti ja ovat harvoja.
- Hemiarktisella vyöhykkeellä kasvukausi on niin lyhyt ja kesät kylmiä, että puut eivät menesty. Kesällä esiintyy usein tulvia ja talvisin roudan sekä lumipeitteen ominaisuuksissa on suuria paikallisia vaihteluita. (Saukkonen 2020, 16–18.)



Kuvio 2. Suomen ilmastoluokkien rajat (Saukkonen 2020, 18)

3.2.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos tarkoittaa ilmaston tilan muuttumista niin, että se voidaan tunnistaa ja todentaa tieteellisesti. Ilmaston tilan muuttuminen ilmenee ilmaston ominaisuuksien ja keskiarvojen vaihteluna, joka jatkuu vuosikymmenistä aina vuosituhansiin asti. Ilmastonmuutosta voi aiheuttaa maapallon ekosfäärin sisäiset prosessit tai ulkoa tulevat voimat kuten aurinkosyklien aiheuttamat muutokset. Yhdistyneiden Kansakuntien ilmastonmuutosta koskevan puitesopimuksen 1. artiklassa ilmastonmuutos määritellään seuraavasti:

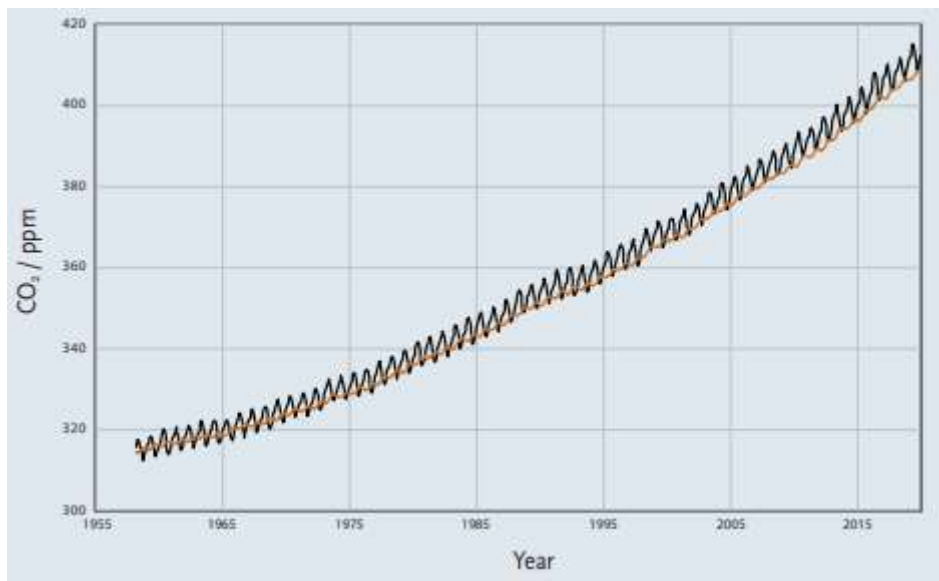
Ilmastonmuutos, joka johtuu suoraan tai epäsuorasti ihmisen toiminnasta ja muuttaa ilmakehän koostumusta vertailukelpoisin ajanjaksoin havaitun luonnollisen ilmaston vaihtelun lisäksi.

Puitesopimus erottelee näin ihmisen toiminnasta aiheutuvan ilmakehän koostumuksen muutoksen ja luonnollisista syistä tapahtuvan ilmastollisen vaihtelun aiheuttaman ilmastonmuutoksen toisistaan. (ICCP 2018.)

Ilmastonmuutos on vaikuttanut maapallolla läpi historian mutta sitä tutkiva nykyaikainen tiede on syntynyt noin kaksisataa vuotta sitten. Vuonna 1824 ranskalainen tiedemies J. Fourier esitti ajatuksen, että ilmakehä toimii lämmittävän peiton tai kasvihuoneen lasiseinien tavoin ja nostaa maapallon pintalämpötilaa. Brittiläinen tiedemies J. Tyndall mittasi hiilidioksidin ja metaanin säteilyominaisuudet tutkimuksessaan vuonna 1867. Tämä tutkimus vahvisti ilmakehässä olevan hiilidioksidin ja metaanin vaikutuksen lämpötilan kohoamiseen maapallolla, sekä muodosti nykyisen ilmastonmuutosta tutkivan tieteen perustan. (Qingchen & Aiqing. 2018, 421.)

Vuonna 1896 ruotsalainen tutkija Svante August Arrhenius laski ilmakehässä olevan hiilidioksidin kasvihuoneilmiötä voimistavan vaikutuksen suuruuden. Fossiilisten polttoaineiden käytön aiheuttaman hiilidioksiditason nousun ilmakehässä ja kasvihuoneilmiön voimistumisen yhteyden havaitsi englantilainen tiedemies G. Callendar tutkimuksessaan vuonna 1938. Hän huomautti, että ihmisen toiminta voi aiheuttaa merkittävän ilmastonmuutoksen maapallolla. (Qingchen & Aiqing. 2018, 421.)

Yhdysvallat aloitti vuonna 1958 seuraamaan ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksia Mauna Loa observatoriossa Havaijilla. Uusi materiaali viitoitti ilmastonmuutoksen tutkimusta kohti tarkempia tuloksia (Kuvio 3). Vuonna 1967 japanilainen tutkija Syukuru Manabe ja myöhemmin vuonna 1979 amerikkalainen tutkijan Jule Charneyn tutkivat ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ja ilmastonmuutoksen välistä suhdetta. Näiden tutkimusten tuloksena syntyi kattava teoria ilmakehässä olevan hiilidioksidin ja ilmastonmuutoksen välisestä vuorovaikutussuhteesta. (Qingchen & Aiqing. 2018, 421–422.)



Kuvio 3. Mauna Loassa tehtyjen ilmakehän hiilidioksidipitoisuusmittausten tulokset vuodesta 1958 lähtien (Wolff ym. 2020, 18.)

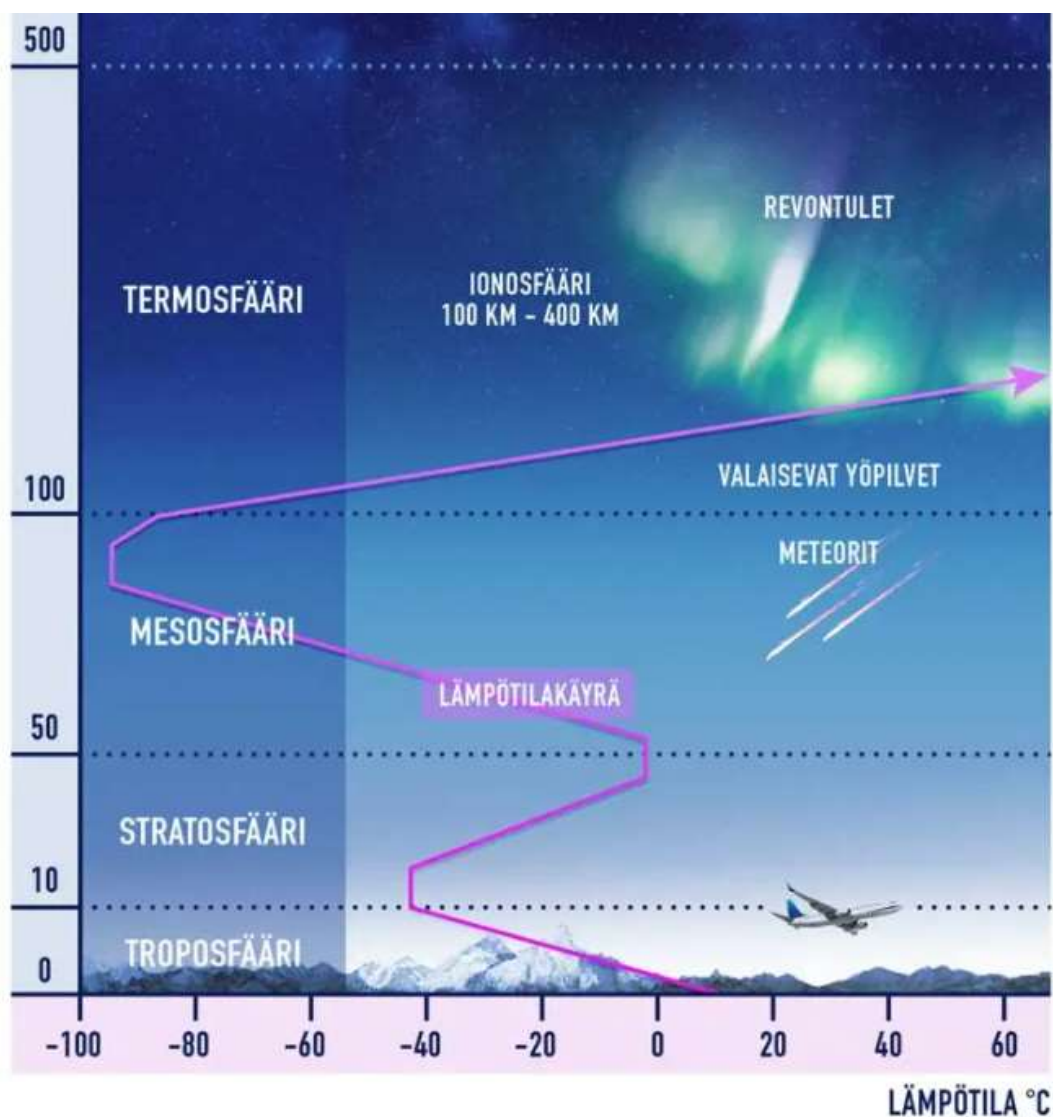
1800-luvun teollisesta vallankumouksesta alkanut fossiilisten polttoaineiden käyttö energian tuotannossa on lisännyt ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta 40 %. Yli puolet tästä lisääntyneen hiilidioksidin määrästä on vapautunut ilmakehään 1970-luvulta lähtien, kun talouskasvu on kiihdyttänyt kuluttamista. Maan pintalämpötila on noussut keskimääräisesti 1 °C verran vuoteen 1900 verrattuna. Suurin osa tästä lämpenemisestä on tieteellisten tutkimusten perusteella johtunut kasvihuonekaasujen lisääntymisestä ilmakehässä ja on suurelta osin tapahtunut viimeisten viiden vuosikymmenen aikana. (Wolff ym. 2020, 1–2.)

Ilmastonmuutoksen aiheuttama lämpeneminen vaikuttaa merkittävästi maapallon elinolosuhteisiin. Näihin muutoksiin kuuluvat muun muassa arktisen jäämassan sulaminen, meren happamoituminen ja merenpinnan nouseminen sekä sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen. Ilmaston lämpeneminen jatkuu tulevana vuosikymmeninä, vaikka kasvihuonekaasujen päästöt pysäytettäisiin ihmisen toiminnan johdosta kokonaisuudessaan. (Wolff ym. 2020, 1–2.)

3.2.2 Ilmakehä

Ilmakehä on maapalloa ympäröivä kaasukehä, joka ulottuu noin 500 kilometrin korkeuteen. Selvää rajaa ilmakehälle ei ylöspäin mentäessä ole, vaan ilman tiheys ja paine pienenee jatkuvasti, kunnes jäljelle on vain avaruuden tyhjiö. Ilmakehä koostuu pääosin kaasuista kuten typestä (78 %), hapesta (21 %), argonista (1 %) ja hiilidioksidista (n. 0,04 %). Lisäksi ilmakehässä on lämpötilasta riippuen vaihteleva määrä vesihöyryä.

Ilmakehä jaotellaan lämpötilan perusteella kerroksiin (Kuva 4). Alimpana kerroksista on troposfääri, joka yltää noin 10 km, seuraavaksi tulee stratosfääri (n. 10–50 km), mesosfääri (n. 50–100 km) ja termosfääri (100–500 km). (Ilmatieteenlaitos 2021.)



Kuvio 4. Ilmakehän kerrokset korkeuden ja lämpötilan mukaisesti esitettynä (Ilmatieteenlaitos 2021a)

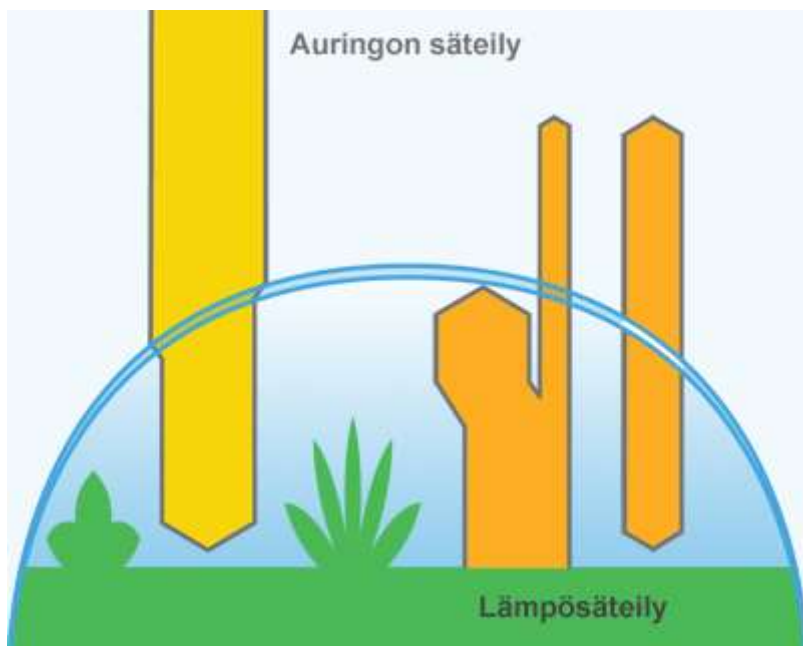
Sääilmiöt tapahtuvat troposfäärissä, jossa sijaitsee 75–80 % ilmakehän massasta. Päivän-tasaajalla troposfäärin yläraja sijaitsee noin 12 kilometrissä, kun taas napa-alueilla se on noin 8 kilometrissä. Ilman sekoittuminen on tehokasta troposfäärissä, niin pysty- kuin vaa-kasuunnassakin. Näin ollen pitkäikäiset kaasut ovat tasaisesti sekoittuneita kyseisessä il-makehän kerroksessa. Lyhytikäiset kaasut eivät sen sijaan ehdi sekoittua, vaan niitä tava-taan vain päästölähteensä ympärillä. (Ilmatieteenlaitos 2021a.)

Ilmakehän otsonista valtaosa sijaitsee Stratosfäärissä noin 15–40 kilometrin korkeudessa. Ilmakehän kerroksellisuus johtuu suurelta osin otsonin määrän pystysuuntaisesta vaihtelusta. Stratosfäärissä ei esiinny helmiäispilviä lukuun ottamatta varsinaisia sääilmiöitä ja ilma on siellä ohutta, vaikka se sisältää noin 20 % ilmakehän massasta. (Ilmatieteenlaitos 2021a.) Ilmakehässä on myös 0,1–100 mikrometrin kokoisia pienhiukkasia, joita kutsutaan aerosoleiksi. Aerosolihiukkaset ovat epäpuhtauksia, joita esiintyy etenkin ilmakehän alaosissa ja ne voivat olla nestemäisiä tai kiinteitä. Aerosoleja esiintyy ilmakehässä sekä luonnostaan että ihmisen toiminnan seurauksena. Useimmilla aerosoleilla on ilmastoa viilentävä vaikutus niiden sirottaessa auringonsäteilyä. (Ilmasto-opas 2013.)

3.2.3 Kasvihuoneilmiö

Maan ilmakehä sisältää luontaisesti kaasuja, jotka osittain estävät auringon maahan säteilemää lämpöenergiaa karkaamasta avaruuteen. Näitä kaasuja kutsutaan kasvihuonekaasuiksi, sillä ne toimivat lämpöeristeinä ilmakehässä kasvihuoneen lasiseinien tavoin ja saavat lämpötilan nousemaan kerroksen alapuolisessa ilmakehän osassa. Kasvihuonekaasuihin lukeutuvat muun muassa vesihöyry, hiilidioksidi, typpioksidi ja metaani. Saapuvan lämpösäteilyn ja poistuvan lämpösäteilyn välistä vuorovaikutussuhdetta kutsutaan kasvihuoneilmiöksi silloin kun sillä on ilmastoa lämmittävä vaikutus. (Kweku, ym. 2018, 2.) Auringon tuottama säteilyteho maanpinnalla mitattuna on keskimäärin noin 340 wattia neliometriä kohden. Tässä keskiarvoisessa luvussa on huomioitu koko maapallo sisältäen auringosta poispäin olevan yöpuolen. Maahan tulevasta säteilystä takaisin avaruuteen heijastuu noin 30 % ja loppu 70 % osuus imeytyy valtaosin maahan, meriin ja ilmakehään muuttuen lämmöksi. (Ilmasto-opas 2021a.)

Luonnollinen kasvihuoneilmiö toteuttaa maapallon luontaisen järjestyksen mukaisia ekologisia prosesseja ja on mahdollistanut suotuisat olosuhteet elämän alkamiselle ja sen jatkumiselle maapallolla. Mikäli kasvihuoneilmiötä ei olisi, maapallon pinnalla vaikuttava keskimääräinen lämpötila olisi noin -18°C . Kasvihuoneilmiön tuottama lisälämpö nostaa sen kuitenkin $+14^{\circ}\text{C}$ kohdille mikä tarkoittaa yli 30 asteen nousua ja sitä kautta suotuisimpia elinolosuhteita maapallolle. Ihmiskunnan toiminta voimistaa kasvihuoneilmiötä jatkuvasti muun muassa muokkaamalla ilmakehää niin että sinne vapautuu lisää kasvihuonekaasuja. Näistä kasvihuonekaasuista merkittävämpiä ovat vesihöyry ja hiilidioksidi, joiden pitoisuus ilmakehässä on pieni verrattuna yleisimpiin kaasuihin, tyypen ja happeen. Pienestä pitoisuuksista huolimatta nämä kaasut vangitsevat noin 90 % maanpinnan ja merien säteilemästä lämpöenergiasta (Kuvio 5). (Ilmasto-opas 2021a.)



Kuvio 5. Saapuvan ja lähtevän lämpösäteilyn määrä ja ilmakehän vaikutus siihen (Ilmasto-opas 2021a)

3.2.4 Kasvihuonekaasut

Ilmakehässä luonnollisesti esiintyvistä kasvihuonekaasuista tärkeimpiä ovat vesihöyry (H_2O), hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), dityppioksidi (N_2O) ja otsoni (O_3). Kasvihuonekaasun molekyyliarakenteen ominaisuuksiin kuuluu niiden kyky absorboida lämpösäteilyä tietyillä säteilyn aallonpituuksilla ja muuttaa saamansa energia uudelleen säteilyksi. Osa tästä säteilystä kohdistuu maan pintaan lämmittäen sitä ja osa poistuu avaruuteen. (Ilmasto-opas 2021b.) Kasvihuonekaasujen määrään ilmakehässä vaikuttaa ihmistoiminnan suorien päästöjen ohella erilaiset vuorovaikutussuhteet ilmakehän ja ekosysteemien välillä. Näissä vuorovaikutussuhteissa luontoperäiset päästöt ja nielut ovat merkittävässä asemassa. (Ilmatieteenlaitos 2021b.) Säteilypakotetta käytetään kuvastamaan ihmisen toiminnasta aiheutuvaa energiaepätasapainoa ilmastojärjestelmässä. Kasvihuonekaasut vähentävät maapalolta poistuvan lämpösäteilyn määrää ja tästä aiheutuu positiivinen säteilypakote. Säteilypakotteen mittayksikkö on säteilytehon määrä neliometriä kohden (W/m^2). (Ilmasto-opas 2021d.)

Ilmakehän alimmissa osissa voimakkaimmin lämpenemistä aiheuttava kaasu on vesihöyry, joka selittää noin puolet luonnollisen kasvihuoneilmaston aiheuttamasta lämpenemisestä. (Ilmasto-opas 2021b.) Veden kiertokulku maapallon ekosysteemissä on kuitenkin niin nopeaa, että vesimolekyyli palaa sateena maanpinnalle oltuaan ilmakehässä keskimäärin noin yhden viikon. Vesihöyryn määrään ilmakehässä vaikuttaa ilman lämpötila. Ilmaston

lämmitessä myös vesihöyryn määrä ilmakehässä kasvaa ja voimistaa edelleen lämpenemistä. Näin vesihöyryn lisääntyminen toimii vahvistavana palauteilmionä, joka vahvistaa muiden kasvihuonekaasujen lämmittävää vaikutusta. (Ilmasto-opas 2021c.)

Metaania vapautuu ilmakehään eloperäisen aineen hapettomassa tilassa tapahtuvassa biologisessa hajoamisessa. Tällaista orgaanisen aineen hajottamista tapahtuu kosteikoilla, soilla, vesistöjen pohjakerroksissa sekä riisipelloilla alkueliöiden toimesta, jotka hyödyntävät orgaanista ainetta energian tuotantoonsa. Metaania syntyy myös kaatopaikoilla, märehittijöiden ruuansulatuselimistön toiminnan seurauksena, öljyteollisuuden tuotteena ja esimerkiksi märkää puuta poltettaessa. Metaani on voimakas kasvihuonekaasu, sillä sen lämmittävä vaikutus on 25-kertainen hiilidioksidiin nähden. Metaani säilyy ilmakehässä noin 12 vuotta, jonka jälkeen se hajoaa lopulta vedeksi ja hiilidioksidiksi auringonvalon vaikutuksesta. (Lindholm 2018.)

Dityppioksidia, jota kutsutaan myös ilokaasuksi, vapautuu maaperästä siihen sitoutuneiden nitraattien hajotessa. Suopelloilla muodostuu suurin osa dityppioksidin päästöistä niiden sisältäessä luonnollisesti typpeä, jota mahdollinen lannoittaminen lisää. Kaksi kolmannesta vapautuneesta dityppioksidista syntyy maaperässä ja merissä olevien mikrobien toiminnan seurauksena. Dityppioksidi vaikuttaa ilmakehässä noin 110 vuotta ja hajoaa ainoastaan ylemmissä ilmakehän osissa auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta. (Lindholm 2018.)

Otsonia muodostuu auringon säteilyn pilkkoessa happimolekyylin (O_2) happiatomeiksi, jolloin muodostuneet happiatomit voivat reagoida happimolekyylien kanssa muodostaen kolmiatomisen otsonimolekyylin (O_3). Otsonin pitoisuus ilmakehässä on pieni ja sitä esiintyy kaikissa ilmakehän kerroksissa suurimman osan kuitenkin sijaitessa stratosfäärissä. (Ilmatieteenlaitos 2021c.) Ilmakehän otsonikerros suojaa maapallon elämää auringon haitalliselta ultraviolettisäteilyltä estäen sen saapumisen maan pinnalle. Otsonikerrosta tuhoavien freonikaasujen käyttöä ihmisen toiminnassa on rajoitettu kansainvälisin sopimuksin. (Ilmasto-opas 2021e.)

Hiilidioksidi on vesihöyryn ohella toiseksi merkittävin kasvihuonekaasu, jota vapautuu ilmakehään luonnollisten prosessien lisäksi erityisesti ihmisen toiminnan seurauksena kuten fossiilisten polttoaineiden käyttämisestä ja hiiltä sitovan kasvillisuuden tuhoamisesta. Ihmisen toiminnan tuloksena vapautuu ilmakehään lisäksi fluorattuja kasvihuonekaasuja, joilla on korvattu otsonille erittäin haitalliset freonit. Niihin kuuluvat fluorihiiilivedyt, perfluorihiiilivedyt, rikkiheksafluoridi ja typpifluoridi. Fluorattuja kasvihuonekaasuja käytetään kylmäkooneissa, ilmastointilaitteissa, lämpöpumpuissa, palontorjunnassa, solumuovien valmistuksessa, aerosoleina ja liuottimina ja niiden käyttö on maailmanlaajuisesti voimakkaassa kasvussa (SYKE 2021).

3.2.5 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on hajuton ja mauton kaasu, jota vapautuu luonnossa ilmakehään muun muassa kasvien ja eliöiden soluhengityksestä, orgaanisten aineiden mätänemisen seurauksena, sekä tulivuorien ja geysirien purkauksissa. Hiilidioksidi muodostuu hiiliatomista ja siihen kiinnittyneistä kahdesta happiatomista. Flaamilainen kemisti Jan Baptist van Helmont (1577–1644) päätteli osan puuhiilestä muuttuneen palamisessa kaasuksi koska tuhka oli puuta kevyempää. Häntä pidetään hiilidioksidin löytäjänä. (Helen 2020.)

Hiilidioksidi on siis myös hapen palamiskaasu, jossa pääasiassa orgaanisen aineen hiiliatomit yhtyvät palamisreaktiossa happiatomeihin ja muodostavat hiilidioksidi molekyylin (CO_2). Hiilidioksidi kuuluu hiilen luonnolliseen kiertoon maapallon ekosysteemissä merien, biomassan ja ilmakehän välillä. Fossiilisten polttoaineiden kuten öljyn poltto lisää hiilidioksidin määrää ilmakehässä yli luonnollisen tason. Ylimääräinen hiilidioksidi pysyy hiilen kierrossa yli 100 vuotta mikä tekee sen aiheuttamista vaikutuksista hyvin pitkäkestoisia. Hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä ilmoitetaan yleisemmin miljoonasosina (parts per million, ppm). (Ilmatieteenlaitos 2021.)

Toukokuussa 2020 Mauna Loan observatoriolla Havaijilla tehdyissä mittauksissa hiilidioksiditaso nousi lukemaan 417,2 ppm. Hiilidioksiditaso ilmakehässä on nyt korkeimmillaan miljooniin vuosiin ja on tutkijoiden mukaan merkittävin tekijä ilmaston lämpenemiseen. Kasvit, maaperä ja valtameret pystyvät sitomaan noin puolet ihmiskunnan vuotuisista 40 miljardin tonnin hiilidioksidipäästöistä ja toimivat hiilinieluinä. Siitä huolimatta ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on jatkuvasti kohonnut. Kasvuvauhti on kiihtynyt 1960-luvun keskimääräisestä 0,8 ppm vuositasosta läpi 1990-luvun 1,5 ppm ja 2000-luvun 2,0 ppm arvosta aina 2010-luvun 2,4 ppm:ään vuodessa. (Tekniikan maailma 2021.)

3.3 Skenaario- ja ilmastomallit

Skenaario on alkuperäisesti esittävässä taiteessa käytetty termi, jolla kuvaillaan tiettyjä tapahtumia ja tapahtumapaikkoja mahdollisimman tarkasti. Esimerkki skenaariosta sisältyy elokuvan käsikirjoitukseen, jossa kuvataan tarkasti henkilöhahmojen repliikit ja liikkeet, kohtauksen valaistus ja rekvisiitta, kameroiden kuvakulmat sekä muunlaiset tarinan kannalta tärkeät seikat. Tulevaisuudentutkimuksessa skenaariota rakennetaan nykyhetken lähtökohdista varioiden erilaisia kehityskulkuja parhaan käytettävissä olevan tiedon mukaisesti. Skenaariomenetelmällä voidaan siis luoda loogisesti etenevä tapahtumakulku, jonka tarkoituksena on näyttää, kuinka tulevaisuudentila kehittyy. (Mannermaa 1999, 57.)

Skenaarioon kuuluu olennaisesti kolme elementtiä, joita ovat nykytilan kuvaus, tulevaisuudentilan kuvaus ja kuvaus niitä loogisesti yhdistävästä prosessista. Skenaariotyöskentely on luonteeltaan ennakoivaa mutta sillä on myös selvä tarkoitus vaikuttaa nykyhetkeen provosoimalla muutoksia nykyhetkeen (Mannermaa 1999, 57, 62.)

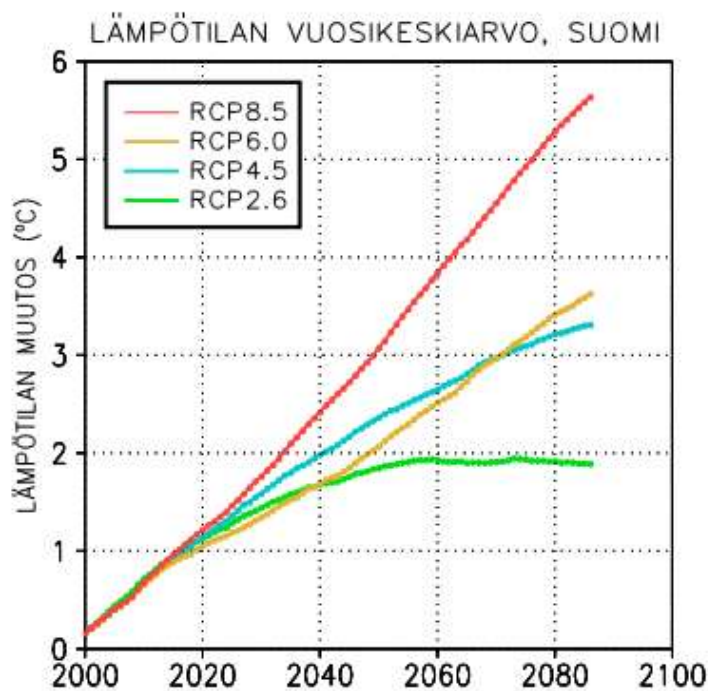
Skenaariot ovat keskeisiä strategisia työkaluja ilmastonmuutoksen vaikutusten tutkimisessa ja niiden projisoimisessa tulevaisuuteen. Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli IPCC käyttää ilmastoskenaarioita tukeakseen ilmastopoliittista päätöksentekoa tieteelliseen tietoon perustuvien raporttien avulla. IPCC:n raporteissa käyttämät ilmastoskenaariot pohjautuvat ilmastomalleihin, jotka huomioivat erityisesti kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten päästöt sekä niiden määrät ilmakehässä. Kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten määriä ennustavat mallit perustuvat maapallon väestömäärän ennakoituun kehitykseen sekä arvioihin tulevaisuuden energiantuotantotavoista. (Letola 2020, 5–6.)

IPCC:n viidennessä raportissa esiteltiin RCP-skenaariot, jotka tarkoittavat kasvihuonekaasujen pitoisuuksien mahdollisia kehityskulkuja ilmakehässä (Representative Concentration Pathways). Kasvihuonepäästöt muodostuvat RCP-skenaarioissa pääosin hiilidioksidista mutta myös muut kasvihuonekaasut, kuten metaani, on niissä otettu huomioon. RCP-skenaarioiden myötä ennusteisiin otettiin mukaan vaikuttavaksi tekijöiksi myös 2000-luvulla syntyneet päästöt sekä eri alueiden maankäyttötavat. (Letola 2020, 5–6.)

RCP-skenaarioiden numeroarvot viittaavat säteilypakotteen suuruuteen. On huomioitava, että samansuuruinen säteilypakote voi toteutua hyvin erilaisilla päästöjen ja pitoisuuksien kehityskuluilla, joten jokainen RCP-skenaario pitää sisällään useita mahdollisia skenaarioita. (ilmasto-opas 2021f.)

RCP-skenaariot jaotellaan seuraaviin luokkiin (Kuvio 6).

- RCP8.5-skenaario: kasvihuonekaasupäästöjen kasvu tulee jatkumaan nopeana tulevaisuudessakin.
- RCP6.0-skenaario: kasvihuonepäästöjen kasvu hidastuu aluksi mutta nousee myöhemmin tällä vuosisadalla melko suuriksi.
- RCP4.5-skenaario: kasvihuonepäästöt jatkavat hieman kasvuaan mutta kääntyvät laskuun vuoden 2040 tienoilla.
- RCP2.6-skenaario: kasvihuonepäästöt kääntyvät selvään laskuun jo vuoden 2020 jälkeen ja ovat melkein nollassa vuosisadan lopussa. (Larjosto, V. Onnela, S. Ronkainen, T & Mattinen-Yuryev, M. 2020, 23.)



Kuvio 6. RCP-skenaarioiden mukaiset lämpötilan muutokset Suomessa 2000–2085 verrattuna jakson 1981–2010 jakson keskiarvoihin (Ruosteenoja, Jylhä & Kämäräinen 2016, 24).

Tulevaisuuden ilmastokehityksen ennusteita tehtäessä käytetään hyväksi ilmastomalleja. Ilmastomallit ovat matemaattisten yhtälöiden avulla rakennettu, fysiikan lakeihin perustuva, teoreettinen malli maapallon ilmastojärjestelmästä. Tietokone laskee ohjelmaan syötettyjen yhtälöiden perusteella simulaation ilmastojärjestelmän kehittymisestä. Kun ilmastomalleihin syötetään RCP-skenaarioiden mukaiset kasvihuonekaasujen pitoisuuksien muutokset, saadaan simuloinnin tuloksena arvioita erilaisten ilmastollisten parametrien, kuten lämpötilan, tulevista muutoksista globaalisti sekä paikallisesti. (Letola 2020, 8.)

Ilmastomalleja on olemassa monia kymmeniä ja niiden tarkkuus on jatkuvasti parantunut. CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) on ilmastomalliaineisto, joka on jaettu maailmanlaajuiseen käyttöön, jotta tiedeyhteisö voisi tehokkaasti havaita virheitä, kehittää malleja edelleen ja tehdä yhteistyötä. Kirjoitushetkellä tiedeyhteisöllä on käytössään CMIP5 (The Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) aineisto. CMIP aineistot päivitetään noin kuuden vuoden välein, joista seuraava uudistus on tulossa vuonna 2022. Uusimmilla malleilla pystytään tarkemmin simuloimaan sään ääri-ilmiöitä, sekä lämpötilan maantieteellistä jakaumaa maapallon mittakaavassa. Ilmastomalleihin liittyy paljon epävarmuustekijöitä, joiden vaikutus voimistuu ennusteen ajanjakson kasvaessa. Ilmastomallien tarjoamia kehityskulkuja ei tästä syystä voida käyttää absoluuttisina tulevaisuuden kuvauksina vaan pikemminkin parhaana arviona tulevan kehityksen suunnasta. (Letola 2020, 8–9.)

Vuonna 2022 julkaistavaan IPCC:n kuudenteen raporttiin tulevien päivitettyjen ilmastomallien mukaan vaikuttaa siltä, että ilmakehä olisi vielä herkempi hiilidioksidin määrälle kuin aiemmin on arvioitu. Muutos johtuu pääosin pilvien vaikutuksesta, joka voidaan nykytiedolla mallintaa aikaisempaa tarkemmin. Pilvien mallinnus simuloinneissa on hankalaa, sillä niillä voi olla sekä viilentävä että lämmittävä vaikutus riippuen olosuhteista. Aikaisemmin on arvioitu vaikutusten kumoavan toisensa. Viimeisten vuosien aikana tehdyt tutkimukset näyttävät osoittavan tämän vääräksi nostaan lämmittävän vaikutuksen suuremmaksi. Mikäli tulokset osoittautuvat luotettavaksi, voi RCP 8.5 mukaisen mallinnuksen tuottama keskilämpötilan nousu osoittautua alimitoitetuksi. (Kokkonen 2020.)

3.4 Kulttuuriperintö

Sana kulttuuri tulee latinan kielen sanasta *cultura*, joka tarkoittaa maanviljelyä, jalostusta, kehitystä tai muokkausta. Sanalla on Suomessa alun perin viitattukin kasvien viljelyyn 1700-luvulla ja se on saanut nykyisen kaltaisen hengellisen tarkoituksensa vasta 1800-luvun loppupuolella. Kulttuurilla tarkoitetaan yhteisöjen tai ihmiskunnan henkisten ja aineellisten saavutusten kokonaisuutta, joka ilmenee erilaisten tieteiden, taiteiden ja tapojen moninaisuutena. (Länsimäki.)

Perinnöllä tarkoitetaan kuolleiden henkilöiden, hävinneiden yhteisöjen tai sivilisaatioiden tuottamaa aineellista tai aineetonta omaisuutta, joka heidän olemassaolonsa päätyttyä siirtyy vielä olemassa oleville ihmisille, yhteisöille tai sivilisaatioille. Perintö yhdistyy siis vahvasti menneinä aikoina saavutettuun henkiseen ja aineelliseen pääomaan ja kytkeytyy sitä kautta historian käsitteeseen. Historia sanan alkuperä löytyy kreikan kielestä, jossa sana *historiá* tarkoittaa kyselyä, tutkimusta, tiedettä tai tieteellistä kertomusta. Sanan syntyperään liittyy kiinteästi myös keikan kielessä oleva verbi *ideîn* 'nähdä', joka taas palautuu saanaan idea. (Koukkunen 1990, Ruppelin mukaan).

Historialla voidaan tarkoittaa useampia asioita, jotka määrittävät sen yhteyden mukaan missä sanaa käytetään. Yleisimmin arkikielessä sanalla viitataan menneisiin tapahtumiin ja menneisyyteen, johonkin joka on jo tapahtunut tai ollut, ja siitä on jäänyt tietoa nykyisyyteen. Historialla voidaan viitata myös muun muassa koulun oppiaineeseen tai akateemiseen historiantutkimukseen. (Veijola & Mikkonen 2016.) Historiantutkimuksen tuottamaa tietoa voidaan käyttää monenlaisiin tarkoituksiin kuten poliittisten päämäärien saavuttamiseen, kansallisen tai yksilöllisen identiteetin muokkaamiseen. Käsitteemme menneisyydestä, nykyisyydestä ja tulevaisuudesta suodattuu osaksi ajallista jatkumoa historiallisten tietojemme, kokemusten ja asenteidemme kautta. Käsitteemme historiasta on vahvasti vaikutussuhteessa vallitseviin arvoihin, tunteisiin ja mielikuviin. (Virta 2011.)

Yleisimmän määritelmän mukaan kulttuurihistoria käsittää ryhmän menneisyydestä periytyneitä aineellisia ja aineettomia resursseja, joita yhteisöt ja niiden jäsenet pitävät arvokkaana ja hahmottavat niiden kautta ihmisyyttään suhteessa muuhun maailmaan menneisyydessä, nykyisyydessä ja tulevaisuudessa. Ne heijastelevat myös ihmisten alati muutoksessa olevia arvoja, perinteitä, tietoja ja kokemuksia sekä toimivat niiden ilmaisuna. (Tuomi-Nikula, Haanpää, & Kivilaakso 2013, 14–15.)

Kulttuuriperintö on käsitteenä kuvailtu Faron yleissopimuksessa, joka on Euroopan neuvoston sopimus kulttuuriperinnön yhteiskunnallisesta merkityksestä. Suomi ratifioi sopimuksen vuonna 2018. Faron sopimusteksteissä kulttuuriperintö on määritelty seuraavasti.

Kulttuuriperintö tarkoittaa niitä menneisyydestä perittyjä voimavaroja niiden omistajasta riippumatta, jotka ihmisten mielestä kuvastavat heidän jatkuvasti muuttuvia arvojaan, uskomuksiaan, tietojaan ja perinteitään. Tähän kuuluvat kaikki ihmisten ja paikkojen vuorovaikutuksesta aikojen kuluessa rakentuneet ympäristön osat. (Council of Europe Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society 2005. Käännös: Salmela, Latvala, Matikka, Kauppi 2015, 17.)

Faron yleissopimus hahmottaa kulttuuriperinnön ihmisten elämänlaatuun positiivisesti vaikuttavana tekijänä ja voimavarana. Siinä huomioidaan myös kulttuuriperinnön arvojen ja vaikutusten ajallinen kytkeytyminen nykyisyyden ja menneisyyden välillä sekä alati muuttuva luonne. Kulttuuriympäristö nousee määritelmässä esille ihmisen ja luonnon välisen vuorovaikutussuhteen kautta. Sopimuksen näkökulma kulttuuriperintötyöhön kasvaa yksilön kautta alhaalta ylöspäin ja tukee moninaista yhteistyötä kulttuuriperinnön suojelemiseksi sekä kehittämiseksi. Kulttuuriperinnön käsitteen alkujaan muotoutuessa sillä viitattiin vain aineelliseen perintöön, esimerkiksi patsaisiin, rakennuksiin tai esineisiin. Myöhemmin käsite on laajentunut kattamaan myös ihmiskunnan aineetonta perintöä. Myös Faron sopimuksessa tällainen jaottelu otetaan huomioon. (Salmela ym. 2015, 19–20.)

Vuonna 2003 kansainvälinen sopimus aineettoman kulttuuriperinnön suojelemisesta hyväksyttiin Unescon yleiskokouksessa. Aineeton kulttuuriperintö voi olla muun muassa suullista perinnettä, esittävää taidetta, rituaaleja ja käytäntöjä. Aineettomalla kulttuuriperinnöllä on myös syvälinen yhteys aineelliseen kulttuuriperintöön. (Valtioneuvoston asetus aineettoman kulttuuriperinnön suojelemisesta tehdyn yleissopimuksen voimaansaattamisesta 47/2013, 3 §.) Aineettoman ja aineellisen kulttuurin suhde on kuitenkin monimutkaistanut kulttuuriperinnön käsitteen käyttöä, tunnistamista ja määrittelyä. Useita tulkintoja, kuten se että kulttuuriperintö ei ole itsearvoista vaan saa merkityksensä ja arvonsa sosiaalisen ja kulttuurillisen prosessin myötä, on esitetty tiedeyhteisön toimesta. (Smith 2006, 12–14.)

4 Toimintaympäristö

4.1 Suomenlinna

Suomenlinna on Helsingin edustan saarilla sijaitseva historiallinen bastionilinnoinnitusmuotoa edustava merilinnoitus, joka on perustettu vuonna 1748. Se levittäytyy yhteensä noin 80 hehtaarin alueelle ja koostuu 200 rakennuksesta sekä kilometrien pituisista puolustusmuureista. Suomenlinnan erityispiirteisiin lukeutuu alkuperäisten maanmuotojen, kuten kallioiden, sovittaminen bastionilinnoinnitusmuotoon optimaalista puolustusta varten (Kuva 3). Suomenlinnan rakennustyöt alkoivat Ruotsin ja Venäjän välisen konfliktin tuloksena. Ruotsin valta-aseman oli heikentynyt Itämeren alueella 1700-luvun alkupuolella sen kärsittyä sodissa tappioita Venäjälle, jonka takia valtakunnan itäiseen puolustukseen tarvittiin vahvistusta. Suomenlinna oli suunniteltu suojaamaan Ruotsia mereltä tulevilta hyökkäyksiltä sekä turvaamaan strategisesti tärkeitä meriyhteyksiä mutta mahdollistaa myös tarvittaessa hyökkäystoiminta. Linnoitus siirtyi kuitenkin Venäläisten hallintaan Ruotsin hävittyä Suomen sodan vuonna 1808. (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 11, 13, 16.)

Suomen valtion hallintaan linnoitus liitettiin sisällissodan aikana keväällä 1918. Tuolloin linnoitus sai nimekseen itsenäisen Suomen mukaisesti - Suomenlinna. Jo itsenäistymisen jälkeisinä vuosina Kustaanmiekka ja Susisaari museoitiin antikvaaristen arvojen perusteella. Suomen puolustusvoimat ovat käyttäneet Suomenlinnaa aktiivisesti toiminnassaan. Viimeistä kertaa linnoitusta on käytetty sotatoimissa toisen maailmansodan aikana, jolloin se toimi muun muassa ilmavalvontakeskuksena ja sukellusvenetukikohtana. Teollista tuotantoa on alueella harjoittanut toisen maailmansodan jälkeen Valtion laivatelakka Oy. Vuonna 1973 puolustusministeriön ja Museoviraston alueet siirtyivät juuri perustetulle Suomen linnan hoitokunnalle ja alue siirtyi siviilihallinnon piiriin. (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 17–18.)

Tänä päivänä Suomenlinna on kulttuurihistoriallisesti merkittävä osa merellistä Helsinkiä. Se on erittäin suosittu vierailukohde ja elävä kaupunginosa n. 800 vakituiselle asukkaalle (Kuvio 7). Alueen asukkaille kaupunki ylläpitää peruspalveluita. Koulu, kirjasto, päiväkotit ja pelastusasema mahdollistavat yhteisön elinvoimaisuuden. Saarelta löytyvät ruokakauppa ja lukuisat kahvilat tukevat alueen matkailu- ja virkistysmahdollisuuksia. Suomenlinnan alue nähdään kaupunkisuunnittelussa asuinpaikkana, työn tekemisen paikkana ja matkailu- sekä virkistysalueena. Näiden käyttötarkoitusten tulee kehitystoiminnassa olla tasapainossa alueen suojeleuarvojen ja kestävä kehityksen periaatteiden kanssa. (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 4, 38, 39.)



Kuvio 7. Suomenlinnan kävijätilasto vuodelta 2017. (Suomenlinna 2022)



Kuva 3. Suomenlinnan bastionilinoitteita Kustaanmiekassa. (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 11.)

4.2 Suomenlinnan hoitokunta

Maailmanperintösopimus velvoittaa Suomen valtiota huolehtimaan Suomenlinnan maailmanperintökohteen suojelusta ja säilymisestä. Merkittävän maailmanperintökohteen arvojen turvaamiseksi ja sen kehittämistä varten on tehty saarikohtainen suunnitelma, jota hallinnoi ja toteuttaa Suomenlinnan hoitokunta. Suomenlinnan hoitokunta on opetus- ja kulttuuriministeriön alainen valtion virasto, joka vastaa Suomenlinnan restauroinnista, ylläpidosta, esittelystä ja hallinnoinnista kokonaisvaltaisesti. Virastossa työskentelee vakituisesti noin 70 työntekijää sekä useita kausittaisia työntekijöitä. Hallinto on jaettu neljään erilliseen yksikköön, joita ovat restaurointi-, kunnossapito-, maailmanperintö- sekä hallintopalvelut. Suomenlinnan hoitokunta vastaa myös kohteen matkailun koordinoinnista ja kehittämisestä yhdessä alueen toimijoiden kanssa. (Suomenlinnan hoitokunta 2021.)

Myös paikallisesti Helsingin kaupungin strategiassa Suomenlinna on tärkeä osa merellistä Helsinkiä. Alue toimii itsenäisenä kaupungin osana ja sen saavutettavuutta, että kehittämistä pidetään tärkeänä. Alueen logistiikkaa kehitetään yhteistyössä valtion, kaupungin ja julkisen sektorin kanssa. (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 25.)

4.3 Maailmanperintökohde

Unesco on YK:n alainen järjestö, joka organisoii ja hallinnoi kulttuuriperintöön liittyvää työtä. Unesco perustettiin toisen maailmansodan jälkeen vuonna 1945 ja se toimii opetuksen, kulttuurin ja tieteen parissa. Organisaation tavoitteita on avustaa rauhan rakentamista, vähentää köyhyyttä ja edistää kestävästä kehityksestä sekä kansojen välistä yhteistyötä. (UPM Verlan tehdasmuseo 2019, 3.)

Maailmanperinnön säilyttämiseen tähtäävän työn voidaan katsoa alkaneen Egyptissä sijaitsevien Abu Simbelin temppelien pelastamiseksi järjestetystä kansainvälisestä operaatiosta vuosina 1959–1968. Temppeleitä uhkasi Niili-jokeen rakennetun padon nostattama veden pinta. Operaation jälkiseurauksena muodostui vahva kansainvälinen tarve suojata koko maailman yhteinen ja korvaamaton kulttuuriperintö. (UPM Verlan tehdasmuseo 2019, 3.)

Unescon valmisteleva maailmanperintösopimus on yleissopimus maailman kulttuuri- ja luonnonperinnön suojelemiseksi. Se tuli voimaan vuonna 1972 ja siihen on sitoutunut 193 valtiota. Sopimuksen tarkoitus on varmistaa kansainvälisellä yhteistyöllä erityisen arvokkaiden kulttuuri- ja luonnonperintökohteiden ja niiden arvojen säilyminen tuleville sukupolville. Unesco ylläpitää maailmanperintökohteiden luetteloa ja vastaa siihen pyrkivien kohteiden hyväksymisestä. (UPM Verlan tehdasmuseo 2019, 3.)

Hyväksytyjen kohteiden operatiivisesta toiminnasta ja suojelutyöstä vastaa kukin kohde maa ja siellä vaikuttavat viranomaistahot ja organisaatiot itse. Maailmanperintökohteeksi nimeäminen edellyttää kohteeltaan, että se on ihmisen luovuuden aikaansaama suurteos tai edustaa merkittävää todistetta vallitsevasta tai vallinneesta kulttuurista. Luonnonperintökohde saattaa esimerkiksi edustaa uhanalaisen eläinpopulaation asuinalueita tai olla merkki maapallon historiassa tapahtuneista geologisista muutoksista. Kaikkien kohteiden on oltava universaalisilta arvoiltaan merkittäviä. Myös aineetonta kulttuuriperintöä koskeva suojelusopimus on ollut voimassa vuodesta 2003 lähtien. Aineettomaan kulttuuriperintöön voi sisältyä muun muassa erilaisia perinteitä, aatteita tapahtumia. (UPM Verlan tehdasmuseo 2019, 3.)

Suomessa Unescon maailmanperintökohteita on seitsemän, joista kuusi on kulttuuriperintökohteita ja yksi luonnonperintökohde. Kulttuuriperintökohteita ovat Struven kolmiomittausketju, Vanha Rauma, Suomenlinna, Verlan puuhiomo ja pahvitehdas, Sammallahden pronssikautinen rökkiöalue ja Petäjänveden vanha kirkko. Luonnonperintöalueen muodostaa Merenkurkun saaristo. (UPM Verlan tehdasmuseo 2019, 3.) Suomi aikoo esittää Saimaan norppasaaristoja seuraavaksi luonnonperintökohteeksi (Sebany 2020).

4.4 Suomenlinnan kulttuuriperintö

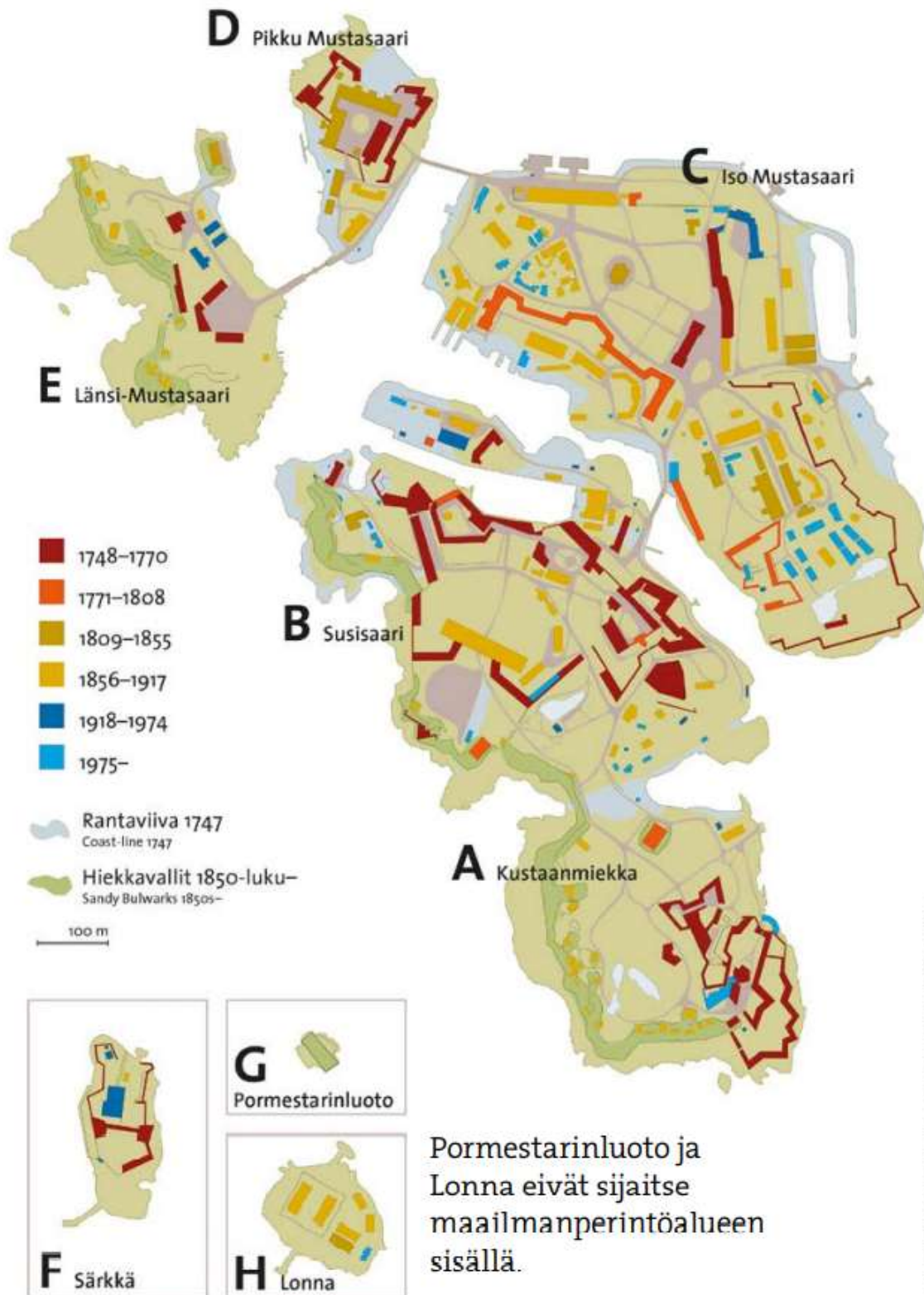
Suomenlinnassa näyttäytyy Ruotsin, Venäjän ja Suomen valtakunnan muokkaamat historialliset piirteet kolmelta eri vuosisadalta. Eri aikakausilla rakennetut linnoitteet, puolustus- ja käyttörakennukset yhdessä maisemoinnin kanssa muodostavat yhtenäisen ja eheän arkeologisen sekä arkkitehtonisen kokonaisuuden. Ruotsin ja Venäjän ajalta oleva rakennuskanta edustaa suurinta osaa rakennuksista ja on hyvin säilynyttä (Kuvio 8). Suomen itsenäisyyden aikana rakennettu kanta on vähäistä mutta näkyy alueella omana historiallisena kerrostumana. Linnoitussaaret ja niitä ympäröivä merellinen kaupunkialue muodostavat yhdessä Suomenlinnan suurmaiseman (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 12, 26).

Suomenlinna edustaa 1600- ja 1700-lukujen historiallisia linnoitusperiaatteita, jotka liittyvät alueen ominaispiirteisiin niin kulttuurillisesti, topografisesti, kuin historiallisestikin. Alue on liitetty suojavyöhykkeineen maailmanperintöluetteloon vuonna 1991 kriteerin (iv) perusteella. Suomenlinnan katsotaan edustavan maailmankulttuuriperinnön kannalta merkittävän historiallisen aikakauden rakennus- ja linnoitusperintöä. Linnoituksen erityisten yleismaailmallisten arvojen takia se on liitetty osaksi ihmiskunnan yhteistä suojeltavaa pääomaa.

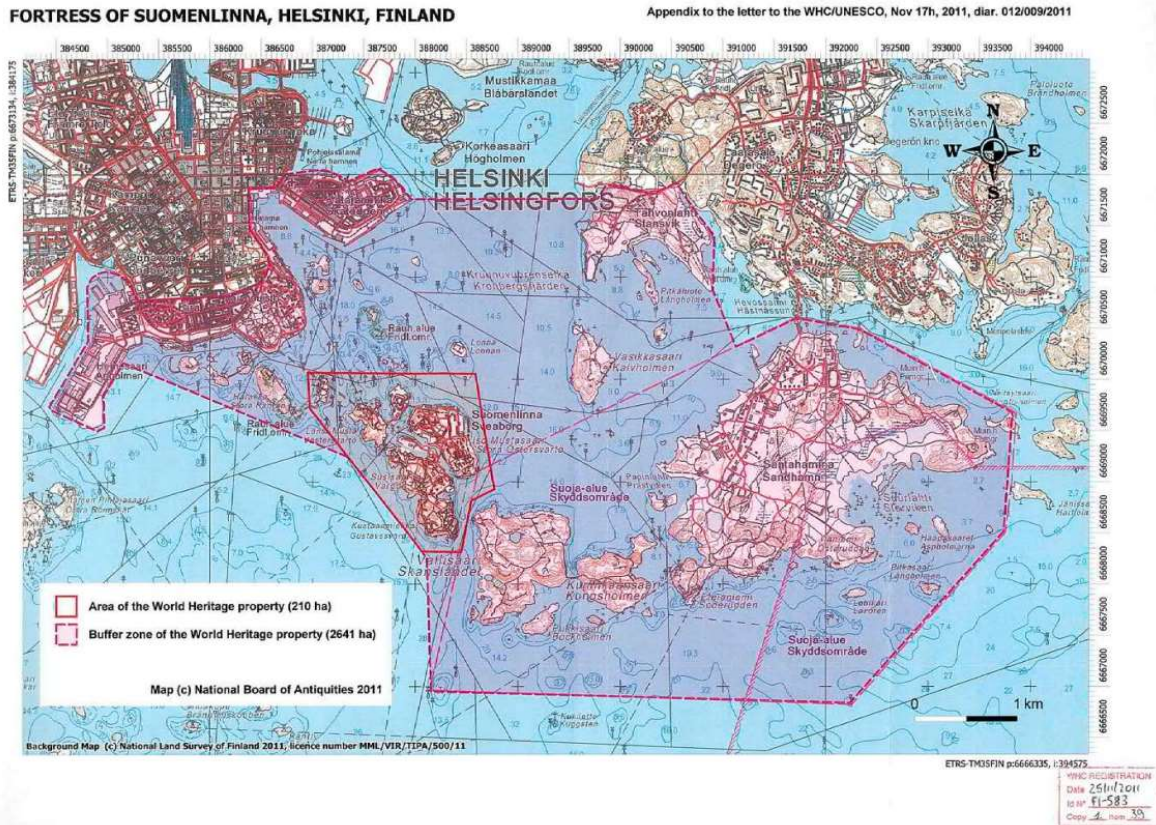
Maailmanperintökomitea on määritellyt Suomenlinnalle noin 80 hehtaarin suoja-alueen, jonka on tarkoitus suojata alueen eheys ja arvojen säilyminen. (Kuvio 9). (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 5, 26.) Suomenlinna ja suuri osa sen suojelualueesta on kirjattu myös Helsingin yleiskaavassa valtakunnallisesti merkittäväksi maisema- ja kulttuuriympäristökohteeksi (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2020, 7).

Linnoitus sisältää kulttuurillisesti merkittävää arkkitehtuuria, jonka vaikutteet ovat osaltaan tulleet Ruotsista, Venäjältä ja Ranskasta. Uudet arkkitehtoniset arvot sekä rakennustavat levisivät Suomenlinnasta myöhemmin myös muualle Suomeen. Alueen muutostyöt ovat pohjautuneet kulttuurihistoriallisten arvojen turvaamiseen viimeistään 1970-luvulta lähtien. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2020, 4.) On huomioitavaa, että historiallisten kulttuuriarvojen lisäksi linnoitus toimii myös nykyisin elinvoimaisena, kaikille avoimena kulttuuritapahtumien keskuksena ja matkailukohteena.

Linnoituksen sijoittuminen Helsingin edustalle on muuttanut ratkaisevasti Helsingin geopoliittista asemaa. Suomenlinnan rakentamisesta alkoi kulttuurin ja talouden nousukausi, jonka aikana linnoituksesta muodostui kukoistava kaupunkikeskus (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 15). Venäjän valtakaudella käyttötarkoitus muuttui pääasiassa sotilaalliseksi linnoituksen toimiessa Venäjän läntisenä etuvartioasemana. Linnoituksen olemassaolo vaikutti osaltaan siihen, että Helsingistä tuli Suomen ruhtinaskunnan pääkaupunki 1812 (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2020, 5).



Kuvio 8. Suomenlinnan rakennuskannan historiallinen ajoittuminen (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024)



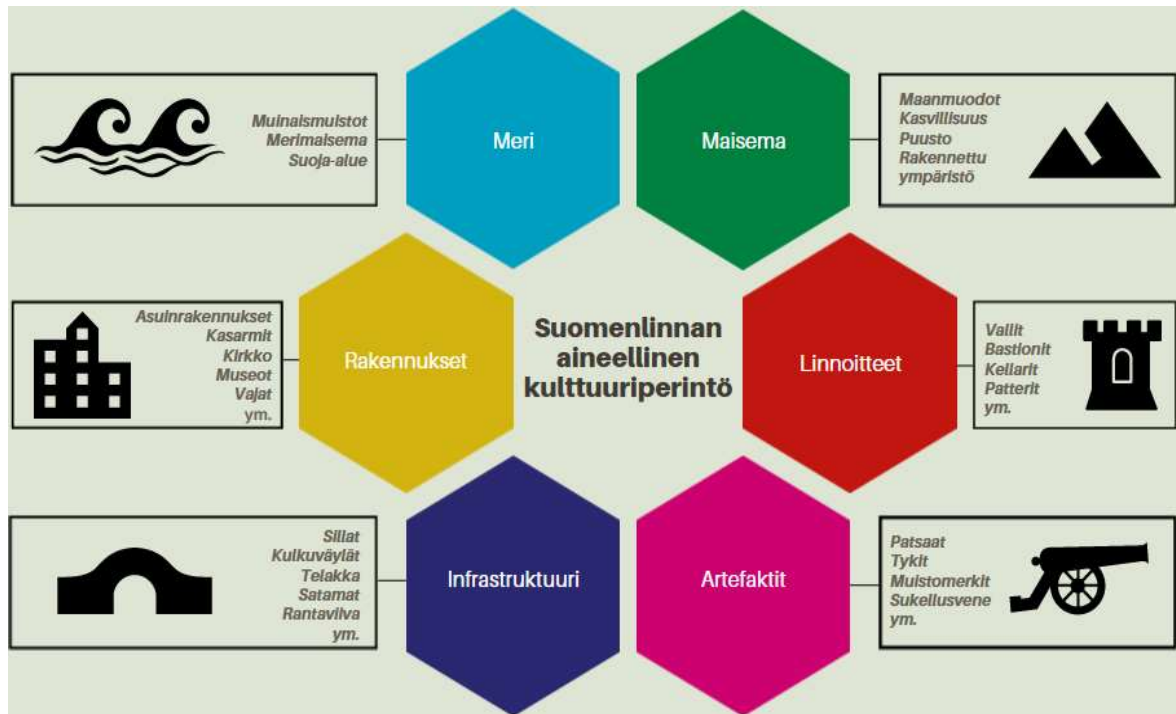
Kuvio 9. Suomenlinnan suoja-alue (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024)

Museovirasto esitti 2017 Suomenlinnan suojelua rakennusperintölain nojalla. Esiityksen pohjana oli päätelmä, ettei alueen suojelutarpeita voida turvata pelkästään asemakaavoituksen avulla (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2020, 5). ELY-keskus hyväksyi suojeluesityksen tammikuussa 2020 ja ympäristöministeriö vahvisti suojelupäätöksen 25.1.2022 (Johansson 2022). Suomenlinna on nyt suojeltu rakennusperintölain ja muinaismuistolain perusteella. Suojelun takia kaikista alueella tehtävistä toimenpiteistä edellytetään arkeologista lausuntoa ja valvontaa. (Perkkiö 2020.) Alueen suojeluesityksessä (Museovirasto 2017, 7) kohteet on inventoitu ja jaettu kolmeen ryhmään:

- Suojeluluokkaan S1 kuuluvat ulkoasultaan hyvin säilyneet rakennukset ja linnoituslaitteet sekä telakka rakenteineen ja varusteineen. (LIITE 1).
- Suojeluluokkaan S2 kuuluvat ulkoasultaan hyvin säilyneet rakennukset ja linnoituslaitteet, maalinnoitteet ja linnoituspihat, rakennetut rannat sekä makeanveden keräilyjärjestelmät. (LIITE 2).
- Suojeluluokkaan S3 kuuluvat aukiot ja väylät sekä puistot, puutarhat ja puurivistöt. (LIITE 3).

Eri suojeluluokkien kohteiden tiedot on merkitty rakennus- ja kohdeluetteloon (LIITE 4).

Suomenlinnan aineellinen kulttuuriperintö koostuu ihmisen ja luonnon vuorovaikutuksen kautta muodostuneesta valtakunnallisesti arvokkaasta merellisestä suurmaisemasta, Suomenlinnan saarilla olevasta rakennetusta ympäristöstä artefakteineen, sekä vedenalaisesta maisemasta muinaismuistoinen. Aineellinen kulttuuriperintö on tässä tutkimuksessa jaettu kuuteen pääluokkaan. Kuvio 10 esittää näitä pääluokkia ja niihin sisältyviä kokonaisuuksia.



Kuvio 10. Suomenlinnan aineellisen kulttuuriperinnön osa-alueet

Maisema koostuu Suomenlinnan saarien rakennetusta ympäristöstä sekä maanmuodoista kasveineen ja puustoineen. Saarien kulttuuriperintömaisema kytkeytyy vahvasti Helsingin merelliseen suurmaisemaan ja suhteutuu suoja-alueensa kautta lähialueeseen kuuluviin Vallisaareen, Kuninkaansaareen, Lonnaan ja Santahaminaan, sekä osittain eteläisen Helsingin maa-alueisiin (Kuvio 8). Suoja-alue kattaa myös ison osan merialuetta, jonka pinnan-alainen maisema laivahylkyineen ja artefakteineen on osa alueen merkittävää arkeologista kulttuuriperintöä. (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 26.) Linnoitteet ovat osa historiallista ja ajallisesti kerroksellista rakennettua ympäristöä Suomenlinnassa. Linnoitteita on rakennettu maa-aineksesta vallien muodossa, kivistä, betonista ja tiilistä muun muassa muurien, tunnelien, bastionien, kellarien, miehistönsuojien, tykkiasemien ja muiden varustusten muodossa. (Suomenlinna.)

Artefaktit voivat olla itsessään historiallisia esineitä, kuten saaren puolustukseen tärkeänä osana kuuluneet tykit, tai toiseen maailmansotaan osallistunut sukellusvene Vesikko. Nykyaikaisempia kulttuuriperintöön liittyviä artefakteja Suomenlinnassa edustavat erilaiset muistomerkit, patsaat ja taideteokset, jotka peilaavat historiallisia tapahtumia nykyisyyden kokemuksen kautta. Saarille linnoitusten myötä rakennettu infrastruktuuri muodostaa oman osa-alueensa aineellisesta kulttuuriperinnöstä. Siihen kuuluvat muun muassa saaren erilaiset sillat, kulkuväylät, rakennetut ranta-alueet satamiseen ja laivatelakka.

Osa alkuperäisestä infrastruktuurista, kuten mukulakivillä päällystetyt kulkuväylät, ovat säilyneet lähes alkuperäisinä, kun taas esimerkiksi siltoja ja asumiseen liittyvää tekniikkaa on jouduttu ajan saatossa kunnostamaan tai modernisoimaan. Vallien rakentamiseen tuodun maa-aineksen mukana Suomenlinnaankulkeutui myös useita vieraslajeja kuten Ukonpalko, joka kukkii vielä nykyisinkin valleilla ja on kiinteä osa alueen kulttuuriperintöä (Kuva 4) (Suomenlinna 2021).



Kuva 4. Valleilla kukkiva Ukonpalko (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024)

Rakennukset muodostavat merkittävän osan Suomenlinnan kulttuuriperinnöstä. Rakennuskanta on hyvin säilynyttä ja muodostaa arvokkaan arkkitehtonisen kokonaisuuden. Rakennukset voidaan jakaa puolustus- ja käyttörakennuksiin, joiden materiaaleissa ja muodoissa voidaan nähdä historian erilaiset vaiheet. Rakennusten pääasiallisina materiaaleina on käytetty kiveä, tiiltä, puuta ja kalkki- tai betonipohjaista laastia. Osa rakennuksista on edelleen alkuperäistä vastaavassa käytössä ja osaa hyödynnetään uusiin käyttötarkoituksiin historiaa kunnioittaen. Alueen tunnistettavimpiin rakennuksiin kuuluu Suomenlinnan kirkko, joka toimii samalla meriliikenteen majakkana (Kuva 5). (Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024, 8.)

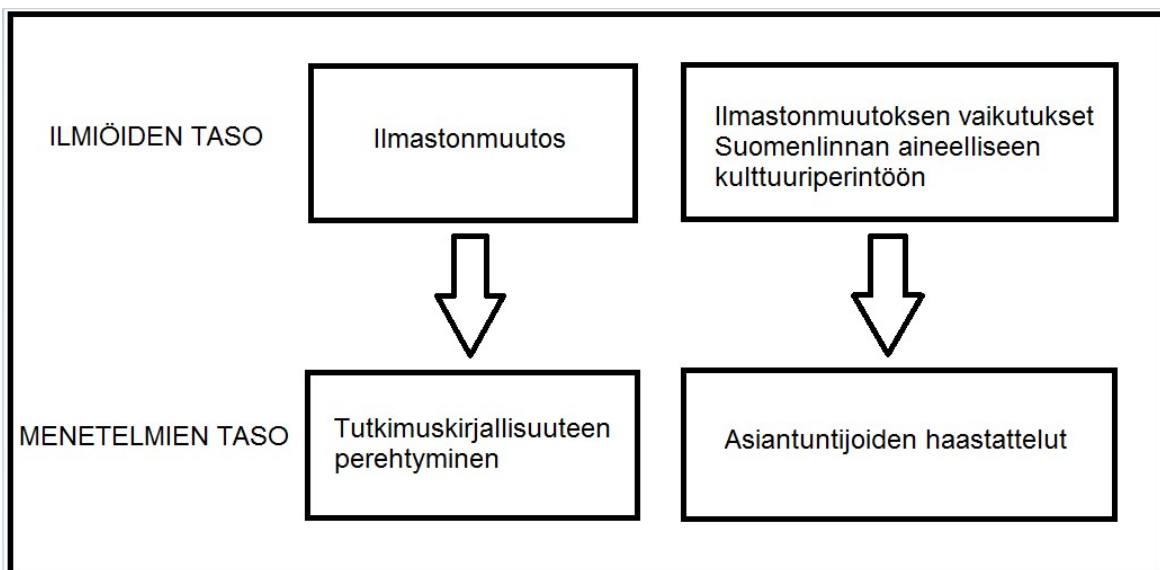


Kuva 5. Suomenlinnan kirkko ja majakka

5 Aineisto ja menetelmät

5.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli tietyn ilmiön vaikutusten kuvaaminen rajattuun kohteeseen kuuluvan vuosisadan, 2000-luvun, aikana. Tutkimuksen lähestymiskulmaksi valikoitui tällöin laadullinen ote, jolla ei pyritty tilastollisiin yleistyksiin vaan jossa sovellettiin teorialähtöistä lähestymistapaa ilmiön paikalliseen ymmärtämiseen. Tutkimuksen viitekehys ja teoria rakentuivat ajantasaisesta tutkimustiedosta, joka muodostaa käsityksen ilmiön tulevaisuudessa aiheuttamista olosuhteista tutkittavan kohteen ympäristössä. (Tuomi & Sarajärvi 2002, 18, 85.) Uutta tietoa ilmiön paikallisista vaikutuksista hankittiin asiantuntijoiden haastatteluiden avulla. Tutkimuksen kohteena olevat ilmiöt ja menetelmät on havainnollistettu kuviossa 11. Vaikka tutkimuksessa käytettäviä metodeja voidaan yhdistellä laadullisten ja määrällisten menetelmien välillä, on tässä tutkimuksessa keskitytty laadullisiin menetelmiin aihealueen, aineiston määrän ja tiedonhankintamenetelmien perusteella (Hirsijärvi & Hurme 2000, 28–29).



Kuvio 11. Tutkimuksen kohteena olevat ilmiöt ja niiden tutkimiseen käytetyt menetelmät.

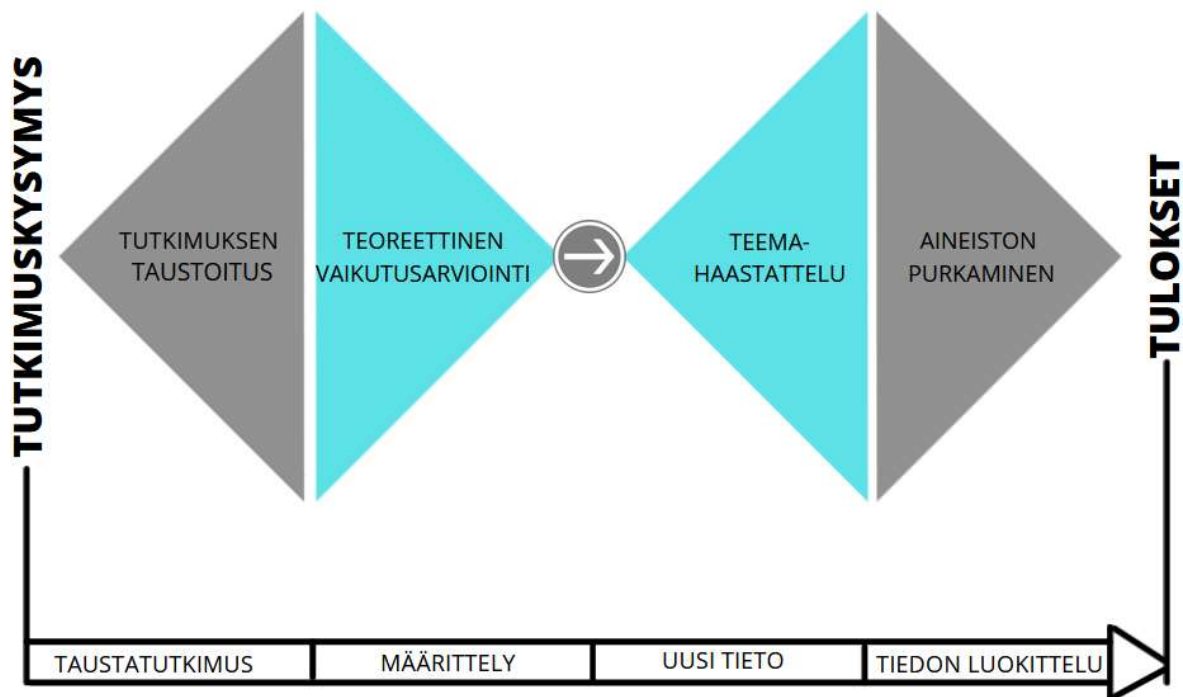
Aihealueen koskiessa kohteen tulevaisuuden tilaa, ei määrällisiä mittauksia ole mahdollista suorittaa. Tutkimusasetelman ollessa vapaampi ja epäformaalimpi, on luontevaa käyttää keskustelua uuden tiedon hankkimiseen (Tuomi & Sarajärvi 2002, 71). Tiedonhankintamethodiksi valikoitui näillä perusteilla tutkimushaastattelu, joka eroaa keskustelusta niin että se tähtää informaation keräämiseen ja on ennalta suunniteltua, päämäärähakuista toimintaa (Hirsijärvi & Hurme 2000, 42).

Uuden tiedon keräämiseen pyrkivät haastattelut suoritettiin tutkittavan kohteen sekä siihen vaikuttavan ilmiön tunteville asiantuntijoille. Myös aihealueeseen liittyvien seminaarien talenteita hyödynnettiin tiedon hankinnassa. Laadullisen tutkimuksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että haastateltavat henkilöt tietävät tutkittavasta ilmiöstä ja kohteesta mahdollisimman paljon tai heillä on kokemusta asiasta (Tuomi & Sarajärvi 2002, 85). Haastatteluiden avulla kerätyn aineiston määrä rajautui kohteen tuntevien asiantuntijoiden lukumäärän perusteella pieneksi, jolloin määrällisiä analyysimetoja käyttämällä ei voida saavuttaa kattavaa vertailuaineistoa.

Haastattelu muodostaa joustavan menetelmän tiedon hankkimiseen erilaisiin tutkimustarkeituksiin. Haastattelussa ollaan suorassa ja kokonaisvaltaisessa vuorovaikutussuhteessa tutkittavan kanssa, joka mahdollistaa tiedonhankinnan ohjaamisen sekä suuntaamisen itse tilanteessa. Hyvässä vuorovaikutussuhteessa voidaan saavuttaa paljon uutta tietoa ja ymmärtää motiiveja tutkittavan vastausten taustalla. Ensisijaisesti kommunikointi haastattelu-tilanteessa painottuu kielelliseen kommunikointiin mutta sisältää myös muunlaisia viestejä kuten kehonkieltä, joita voidaan havainnoida. Haastattelun ohjaaminen ja säätely tiedon saavuttamiseksi vaatii kuitenkin haastattelijalta taitoa ja kokemusta, minkä takia haastattelijan tehtäviin pitäisi Hirsijärven ja Hurmeen mukaan kouluttautua. Itse haastattelut vievät paljon aikaa ja niiden purkaminen on hidasta. Lisäksi haastattelussa saavutettavaan tietoon liittyy riski virhelähteistä, joita aiheuttavat niin haastateltava kuin haastateltavakin. (Hirsijärvi & Hurme 2000, 34–35.)

5.2 Haastattelun toteutus

Tutkimusmetodiksi valittiin teemahaastattelu sen salliessa rakenteeltaan vapaamman tiedonhankinnan. Tällä tavoiteltiin mahdollisimman laaja-alaista ja rajoittamatonta mahdollisuutta tiedon esiintuomiseen haastattelu-tilanteessa. Teemahaastattelussa edetään ennalta määriteltyjen, tutkimuksen teoriaosioon pohjautuvien keskeisten teemojen varassa. Yksityiskohtaisia kysymyksiä, tiukkaa järjestystä tai tarkkoja vastausvaihtoehtoja ei käytetä, jolloin haastattelijalla vapautuu osittain tutkijan roolista ja antaa tilaa haastateltavien kokemukseksi sekä näkökulmille. Teemahaastattelu ottaa näin huomioon haastateltavien omat tulokset ja asioille antamat merkitykset, sekä sen että merkitykset nousevat esille juuri vuorovaikutuksen kautta. (Hirsijärvi & Hurme 2000, 28, 48). Tämän tutkimuksen prosessissa teemahaastattelulla haetaan asiantuntijapohjaista tietoa tapaustutkimuksen kohteesta sen jälkeen, kun ilmiön tieteellinen ja teoreettinen vaikutustarkastelu on suoritettu (Kuvio 12).



Kuvio 12. Tutkimustyön prosessikuvaus.

Teemat tutkimuksessa johdettiin loogisesti ilmastonmuutoksen aiheuttamien sääolosuhteiden muutoksista sekä niiden vaikutuksista ilmakehään, maaperään ja vesistöön. Yläkategorian teemoja olivat lämpötila, sateisuus, kuivuus ja ilmanpaine. Nämä jakautuivat vielä alakategorioiksi, joita olivat keskilämpötila, roudan määrä, jään määrä, merenpinnan taso, sademäärä, lumen määrä, auringonsäteily, maaperän kosteus, tuulisuus, myrskyt ja rajuilmat. Näitä teoriasta johdettuja luokkia käytettiin haastattelurungon pohjana (LIITE 5). Haastateltavat valittiin työntilajana toimivan organisaation kanssa yhteistyössä, jolloin pystyttiin varmistamaan kattava mutta riittävän diversifioitunut asiantuntijaotanta.

Kohdejoukoiksi muodostuivat kaksi erillistä ryhmää, joiden rajaus johdettiin tutkittavan kohteen organisaation mukaisesti:

- **Kohdejoukkoon 1** kuuluivat tutkittavan kohteen organisaation sisällä vaikuttavat asiantuntijat (Suomenlinnan hoitokunta)
- **Kohdejoukkoon 2** kuuluivat tutkittavan kohteen organisaation ulkopuolella vaikuttavat asiantuntijat (Museovirasto, Ilmatieteenlaitos).

Haastateltaviksi valittuihin asiantuntijoihin otettiin yhteyttä sähköpostilla, jossa kerrottiin tutkimuksen perustiedot ja kysyttiin halukkuutta osallistua siihen. Mikäli vastausta sähköpostiin ei kuulunut viikon sisällä, otettiin henkilöihin yhteys puhelimitse. Haastateltavien tavoittaminen osoittautui osittain haastavaksi, sillä kaikkia henkilöitä ei tavoitettu useista yrityksistä huolimatta. Toiseksi haasteeksi muodostui sopivien asiantuntijoiden löytäminen. Useat tavoitetut henkilöt pitivät asiantuntijuuttaan epäsovivana tutkittavaan aiheeseen nähden. Erityisen hankalaa oli löytää asiantuntijoita, jotka tunsivat sekä ilmiötä (ilmastonmuutos) että kohdetta (Suomenlinna). Haastattelupyynnöksi jouduttiin lähettämään alkuperäistä suunnitelmaa suuremmalle joukolla asiantuntijoita, jotka työskentelivät Oulun yliopistossa, Helsingin yliopistossa, Ilmatieteen laitoksella, Museovirastolla, Ympäristöministeriössä ja Suomenlinnan hoitokunnassa.

Haastatteluissa ei käytetty tutkimusmetodina havainnointia, sillä tutkimuksen aihepiiri oli henkilökohtaisen sijaan ammatillinen. Haastattelut suoritettiin etäyhteyden avulla yksilöhaastatteluina syksyn 2021 aikana ja kullekin haastattelulle oli varattu yhden tunnin pituinen aika. Haastattelut nauhoitettiin sekä Microsoft Teams-ohjelmistolla, että matkapuhelimella. Nauhoite tallennettiin kahteen erilliseen paikkaan, mikä vähensi merkittävästi tiedon menettämisen riskiä. Haastateltaville toimitettiin haastattelussa läpi käytävät teema-alueet sekä aineellisen kulttuuriperinnön jaottelu ennakkoon (LIITE 5 ja LIITE 6). Haastateltaville informoitiin tiedot tutkimuksen tekijästä, tilaajasta, tarkoituksesta ja julkisuudesta. Lupa haastattelun aineiston käyttämiseen tutkimuksen tarkoituksiin pyydettiin suusanallisesti. Myös lupa haastateltavien nimien julkaisuun tutkimuksen yhteydessä pyydettiin, sillä sen katsottiin vaikuttavan suoraan tutkimuksen validiteettiin ja reliabiliteettiin. Tutkimuksen haastatteluihin osallistuivat seuraavat henkilöt. Tiedoissa näkyvät henkilön organisaatio, titteli ja vastuualueet.

Tuija Lind, Suomenlinnan hoitokunta, Yliarkkitehti

Muureihin, linnoituslaitteisiin ja linnoitusmaisemaan liittyvä tutkimus, suunnittelu ja rakennuttaminen.

Kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö ja tutkimushankkeet

Iina Johansson, Suomenlinnan hoitokunta, Maisema-asiantuntija

Maiseman hoitoa ja käyttöä ohjaavat linjaukset

Kulttuurimaiseman hoidon ja ympäristöhankkeiden suunnittelu

Ympäristöturvallisuus

Koulutusyhteistyö maiseman ja ympäristön osalta

Minna Koivikko, Museovirasto, Kulttuuriympäristöpalvelut, Projektipäällikkö

Veteen vajonneet- projekti

Meriarkeologiset kenttätutkimukset

Vedenalainen kulttuuriperintö

Hylt

Suomenlinna

Jani Puhakka, Museovirasto, Kulttuuriympäristöpalvelut, Rakennuskonservaattori

Seurasaaren ulkomuseon rakennuskokoelman hoito

Rakennuskonservointi

Restaurointi

Sidosryhmäyhteistyö

Kirsti Jylhä, Ilmatieteenlaitos, Erikoistutkija

Ilmaston vaihtelu ja muutos

Skenaariot ja ilmastonmuutoksen vaikutukset

Äärimmäiset sääilmiöt

Viestintä ilmastonmuutoksesta

ACCLIM-hanke

Aineiston analysointi aloitettiin lyhyen ajan sisällä haastattelujen suorittamisesta, jolloin aineisto oli vielä tuore ja mahdollisesti tarvittavien tarkentavien kysymyksen esittäminen haastatelluille toisi paremman tuloksen (Hirsijärvi & Hurme 2000, 135). Haastattelumateriaalin purkaminen suoritettiin kuuntelemalla nauhoitteet ja pelkistämällä niiden sisältämä informaatio. Pelkistämisessä tutkimuskysymyksen kannalta oleellista materiaalia kirjoitettiin tiivistettyyn muotoon, joka helpotti tiedon jatkokäsittelyä. Tätä lähestymistapaa tukivat haastateltavien pieni määrä, haastatteluiden kohtuullisen lyhyt ajallinen kesto, sekä myös haastattelujen perustuminen julkisille tosiasiakysymyksille (Hirsijärvi & Hurme 2000, 106, 138). Purkamisen jälkeen materiaalia analysoitiin aineistolähtöisesti ryhmittelemällä sitä. Ryhmittelyssä aineistosta eritellyt kuvaukset käytiin läpi ja järjestettiin niissä esiintyneiden yhdenmukaisuuksien mukaan ryhmiksi. (Tuomi & Sarajärvi 2002, 108–113.) Analyysin ryhmittely tehtiin teemoittelun avulla, jossa ryhmät pohjautuivat haastattelussa käytettyihin teemoihin, sekä tässä työssä muodostettuun aineellisen kulttuuriperinnön jaotteluun. (Hirsijärvi & Hurme 2000, 173).

5.3 Muu tutkimusaineisto

Tutkimuksessa muina aineistoina käytettiin tieteellisiä tutkimuksia ilmastomallien tuottamasta informaatiosta, joka koski ilmasto-olosuhteiden muuttumista tulevaisuudessa. Näistä ilmastomallien tuottamista ennusteista, jotka koskivat Suomen ilmaston muuttumista, johdettiin haastattelujen runkona toimivat teemat. Lisäksi eri viranomais- ja julkistentahojen, sekä järjestöjen tuottamaa materiaalia ilmastomuutoksesta ja sen vaikutuksista Suomessa hyödynnettiin tutkimuksen eri osa-alueissa. Julkaisuja aiheesta ovat tehneet muun muassa Helsingin kaupunki, Valtioneuvoston kanslia, Maailman Luonnon Säätiö ja Ilmatieteenlaitos. Näitä lähteitä on käytetty pääasiallisesti kappale 6 materiaalina. Tutkimuksen tuloksien vertailua toisiin maailmanperintökohteisiin suoritettiin ilmastomuutoksen ja kulttuuriperinnön aiheita käsittelevän tieteellisen tutkimuksen ja seminaariesityksen perusteella.

6 Ilmastomuutoksen vaikutukset ilmasto-olosuhteisiin Suomessa

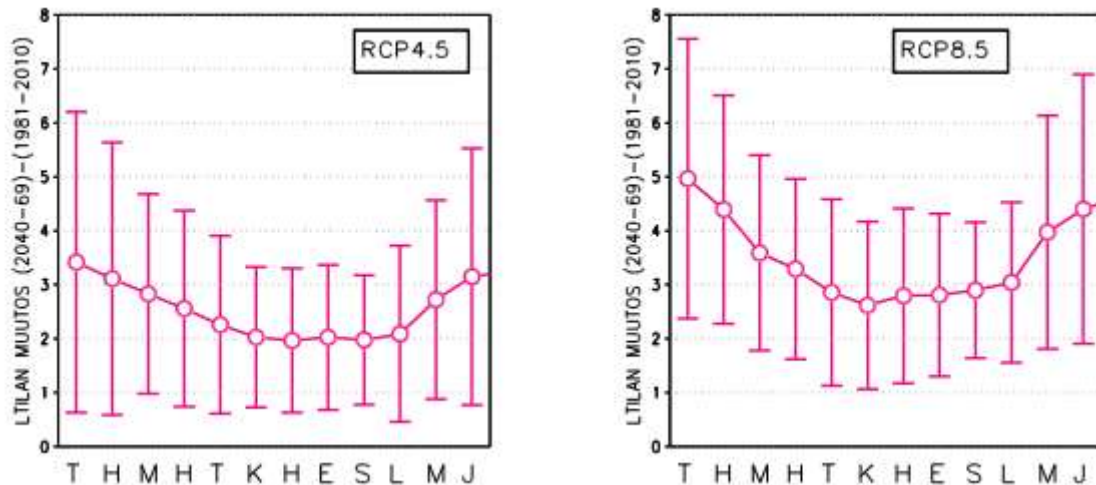
6.1 Lämpötila

Ilmastomuutoksen vahvin indikaattori on lämpötilan nousu. Suomessa ilmaston lämpeneminen on ollut voimakkaampaa kuin maapallolla keskimäärin. 1800-luvun puolivälistä lähtien Suomen ilmasto on keskimäärin lämmennyt 2–3 celsiusasteella (Mikkonen, Laine, Mäkelä, Gregow, Tuomenvirta, Lahtinen & Laaksonen 2015, 1525). Vastaavasti maapallon ilmasto on lämmennyt samassa ajassa keskimäärin noin 1,2 asteen verran (Hartmann, Klein Tank, Rusticucci, Alexander, Brönnimann, Charabi, Dentener, Dlugokencky, Easterling, Kaplan, Soden, Thorne, Wild & Zhai. 2013, 187). Tällä hetkellä Suomen ilmasto lämpenee vajaan puolen asteen vauhdilla vuosikymmentä kohden ja lämpenemisen ennustetaan jatkuvan voimakkaampana korkeilla pohjoisilla leveysasteilla muuhun maapalloon keskimääräisesti verrattuna. (Lehtonen, Venäläinen & Gregow. 2020, 13–14.)

6.1.1 Keskilämpötila

Suomen ilmaston lämpenemisen odotetaan jatkuvan samaa vauhtia kuin edellisinä vuosikymmeninä aina 2040-luvulle asti, jolloin keskilämpötila nousee noin 0,5–1,5 asteella riippuen valitusta RCP-skenaariosta (Kuvio 6). Ainoastaan suurten kasvihuonepäästöjen RCP8.5-skenaariossa lämpeneminen kiihtyy jonkin verran muihin skenaarioihin nähden. 2050-luvulta lähtien ilmastomallien tuottamissa ennusteissa eri päästöskenaarioille esiintyy lämpenemisessä merkittäviä eroja. RCP2.6-skenaariossa lämpeneminen loppuu vuosisadan puoliväliin ja RCP4.5-skenaariossakin lämpenemisvauhti alkaa pienentyä. Suurimpien päästöjen RCP8.5-skenaariossa lämpeneminen kiihtyy entisestään ja Suomessa voidaan kokea vuosisadan loppupuolella yli 5 astetta vuosikeskiarvoltaan nykyistä lämpimämpi ilmasto (Kuvio 6). (Ruosteenoja ym. 2016, 24.)

Lämpötilan nousuun vaikuttaa monia tekijöitä, joiden vaikutuksesta muutos ei välttämättä ole tasaista. Muun muassa meriveden tiheyden muutoksiin liittyvän Atlantin termohaliinisen kiertoliikkeen hidastempoisen vaihtelun on tutkittu vaikuttavan Euroopan ilmastoon noin 60–100 vuoden sykleissä (Gray, Graumlich, Betancourt & Pederson. 2004, 1). Nämä vaihtelut vaikuttavat Suomessa erityisesti loppukesän lämpötiloihin, jotka voivat olla keskimääräistä lämpimämpiä, kun Atlantin termohaliininen kiertoliike on lämpimässä vaiheessa. Kun AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) siirtyy viileään vaiheeseen, voi se väliaikaisesti rajoittaa lämpenemistä tulevina vuosikymmeninä. (Lehtonen ym. 2020, s 14).



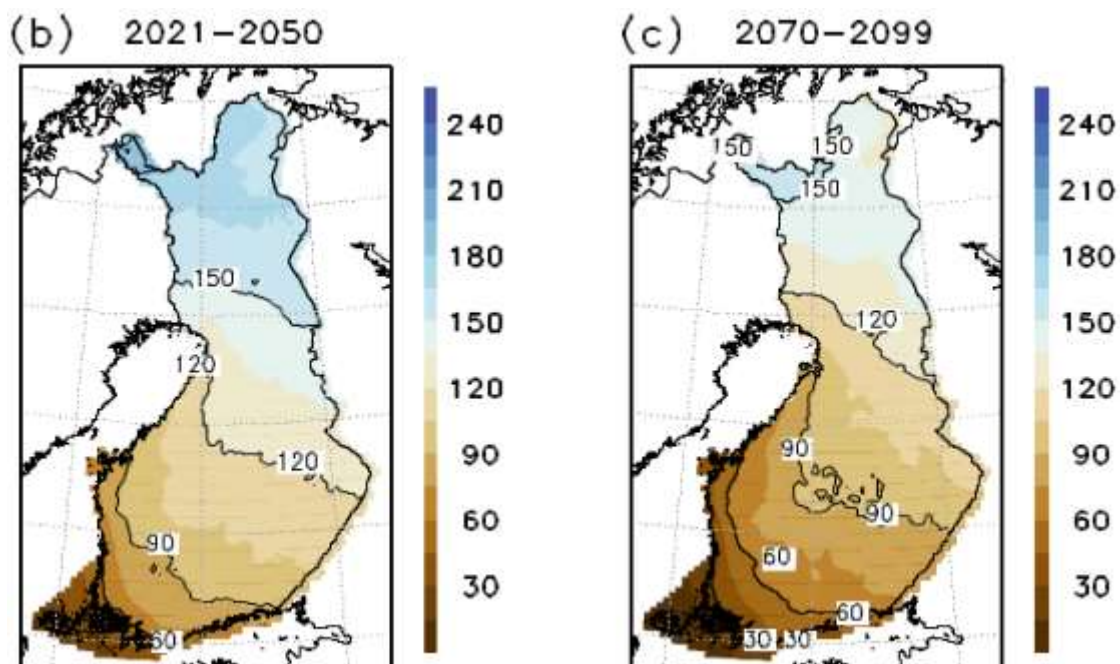
Kuviot 13 ja 14. Keskilämpötilan muutos Suomessa kuukausittain verrattaessa jaksoa 1981–2010 jaksoon 2040–2069. Kuvaaja esittää 28 maailmanlaajuisen ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvoa. Pystyjanat havainnollistavat muutoksen 90 % todennäköisyysväliä. Laskelmat on tehty kasvihuonepäästöjen RCP4.5 ja RCP8.5-skenaarioilla. (Lehtonen ym. 2020, 15.)

Vuoden aikojen välillä vaihtelu lämpenemisessä on suurta. Erityisesti talvella lämpötilojen ennustetaan nousevan 1,5–2 kertaisesti kesän lämpötilan nousuun verrattuna (Kuviot 13 ja 14). Talvien voimakkaampaa lämpenemistä tulevaisuudessa tukee jo havaittu lämpenemishistoria, jota verrataan jakson 1981–2010 tilanteeseen (Räisänen 2019). Myös vuodenaikojen sisäisiä vaihteluita voidaan ennusteissa havaita. Talven kovimmat pakkasjaksot tulevat lauhtumaan enemmän kuin saman vuodenajan lauhkeammat jaksot. Kesällä taas lämpötilojen nousu on yhteneväistä korkeimpien ja matalampien lämpötilojen suhteen. Suomen eri alueilla lämpenemisen voimakkuus ei merkittävästi eroa toisistaan. Kesäaikaan erot ovat pieniä mutta korostuvat talvella, jolloin Pohjois-Suomessa lämpötila voi nousta korkeimmillaan 1–2 astetta Etelä-Suomea enemmän. (Lehtonen ym. 2020, s 14).

Kesän hellepäivien lukumäärän odotetaan tuplaantuvan jo parin asteen keskilämpötilan nousun takia 1900-luvun lopun jaksoon verrattuna (Kim, Sinclair, Räisänen & Ruuhela 2018). Kesällä 2021 rikottiin hellepäivien osalta vuodelta 2014 ollut 26 vuorokauden ennätys (Ilmatieteenlaitos 2021d), kun Kouvolan Anjalassa mitattiin 31 vuorokautta kestänyt hellejakso. Suomessa helteen raja-arvoksi on määritelty 25 celsiuksen lämpötila. (Tillaeus 2021).

6.1.2 Roudan määrä

Maan routaantumisen ennustetaan Suomessa vähenevän ilmaston lämmetessä. Roudan kehittymiselle olennaiset ilmastolliset tekijät, kuten lämpötila, lumipeite ja maaperän kosteus, muuttuvat ilmastonmuutoksen vaikutuksesta niin että routajaksojen pituus tulee lyhenemään. Routa ei myöskään ulotu yhtä syväälle maaperään kuin aikaisemmin. Roudan väheneminen lämpenemisen johdosta ja maaperän kosteuden lisääntyminen syystalven sademäärien kasvaessa aiheuttaa kohonneen riskin myrskytuhojen lisääntymiselle. Erityisesti puusto voi altistua myrskyjen aiheuttamalle tuhoriskille vähentyneen roudan seurauksena. Kivennäismailla routajakson arvioidaan lyhenevän noin kuukaudella ajanjaksolla 2021–2050 verrattuna jaksoon 1981–2010. RCP4.5-skenaarion mukaan lähestyttäessä vuosisadan loppua routajakso lyhenee edelleen kuukauden lisää ja RCP8.5-skenaariossa jopa kaksi kuukautta lisää (Kuviot 15 ja 16). Lounais-Suomessa, jossa routaa esiintyy Suomen olosuhteissa pienemmissä määrin, tämä tarkoittaisi keskimääräisenä talvena noin kahden viikon pituista routajaksoa. Turvepohjaisilla mailla Etelä- ja Keski-Suomessa routaa ei enää esiintyisi juuri ollenkaan. (Lehtonen ym. 2020, s 25).



Kuviot 15 ja 16. Talven routapäivien lukumäärä (roudan syvyys yli 20 cm.) kivennäismailla kuuden ilmastomallin tulosten perusteella arvioituna RCP4.5-skenaariolla ajanjaksoille 2021–2050 ja 2070–2099 (Lehtonen, Venäläinen, Kämäräinen, Asikainen, Laitila, Anttila & Peltola 2019).

6.1.3 Jään määrä

Tulevaisuuden talvia Suomessa leimaavat jatkuvat ja toisiaan seuraavat sulamis- ja jäätymisvaiheet, vesisateet ja jäisen kuorikerroksen muodostuminen lumen päälle (Brown, Schuler, Bulygina, Derksen, Luoju, Mudryk, Wang & Yang 2017, 33–35). Tämän suuntaisen kehityksen lisäksi hetkittäisesti jään muodostumista ja lisää onnettomuusriskiä. Itämereen ilmastonmuutos vaikuttaa muun muassa nostamalla sen pintaveden lämpötilaa arviolta 2–4 celsiusastetta vuoteen 2100 mennessä (Meier 2015, 244). Aikaisempi lämpötilan tutkimus osoittaa Itämeren lämmenneen noin 1 celsiusasteen verran vuosikymmenessä vuosien 1990–2008 aikana (Lehmann, Getzlaff & Harlaß 2011, 191–192).

Lämpeneminen vaikuttaa merkittävimpana tekijänä Itämeren jääpeitteen laajuuteen, paksuuteen ja esiintymisaikaan vähentävästi. Muiden vaikuttavien tekijöiden osuudet jäävät selvästi lämpenemistä pienemmäksi. Meri jäätyy aikaisempaa myöhemmin ja täysin jäättömät talvet tulevat yleistymään (Reinikainen, Rytteri, Kanerva, Kekäläinen, Koskela, Kunttu, Mussaari, Numers, Rinkineva-Kantola, Sievänen & Syrjänen 2018, 76). Itämeren jääpeitteen määrän ennustetaan pienevän yhteensä 50–80 % vuoteen 2100 mennessä (Andersson, Meier, Ripszam, Rowe, Wikner, Haglund, Eilola, Legrand, Figueroa, Paczkowska, Lindenhoff, Tysklind & Elmgren. 2015, 346).

Itämeren jääpeitteen laajuudessa on havaittavissa suuria vuosittaisia vaihteluita. Tilastojen mukaan Itämeri saa kokonaisen jääpeitteen noin neljä kertaa vuosisadassa, jolloin jään peittoalue on yli 383 000 km² mutta 1990-luvun taitteen jälkeen ankarien jäätalvien määrä on vähentynyt huomattavasti. Leudoimpinakin talvina Perämeri on jäänyt ja jääpeitteen laajuus on saavuttanut 81 000–139 000 km² alan (Seinä, Palosuo & Grönvall 1997, 8, 39). Uusimpien mallien ennusteiden mukaan täysin jäättömiä talvia ei vielä tällä vuosisadalla esiinny mutta jääolosuhteet jatkavat Itämerellä heikkenemistään (Meier 2015, 248).

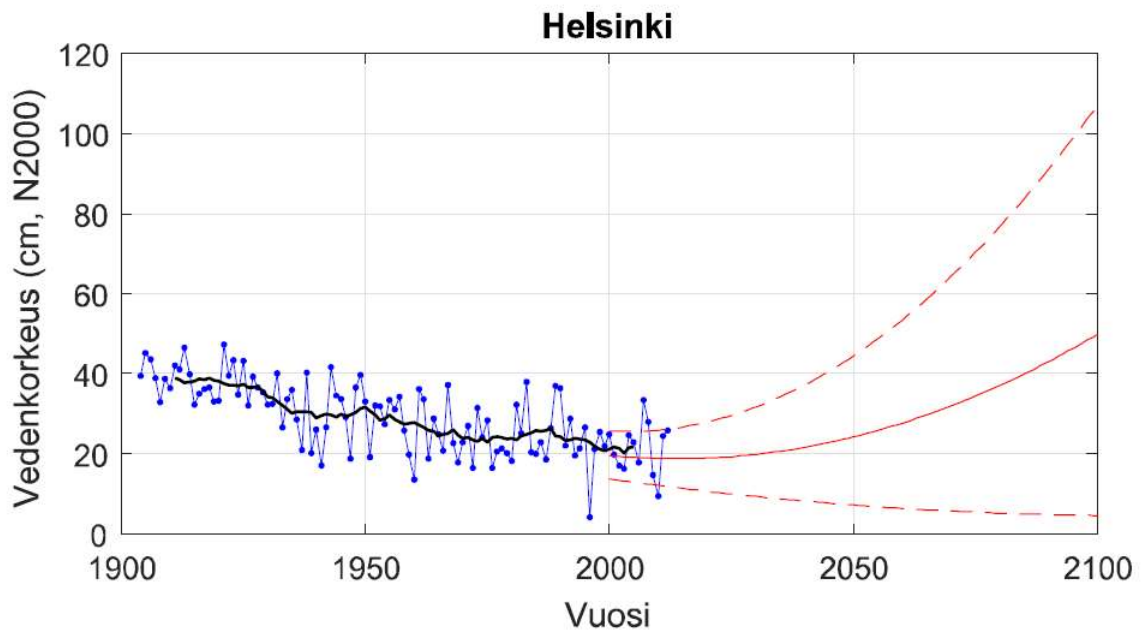
Pohjanlahden jääoloja selvittäneessä tutkimuksessa tulokset ennustavat Perämeren pohjoisosan jäätyvän jokaisena talvena 2050-luvulla. Jään paksuus saavuttaa suurimmillaan 80 cm arvon ja mediaanin 50 cm. Selkämeren eteläosissa on samalla aikajaksolla yli 50 %:n todennäköisyys jään esiintymiselle jään paksuuden mediaanin ollessa yli 10 cm. Jäätalven pituus voi Perämerellä usein ylittää 150 päivää vuosisadan puolivälissä. Muilla Pohjanlahden alueilla jäätalven pituus on lähempänä sataa päivää mutta tuloksissa esiintyy suurta vaihtelua. (Erkkilä 2021, 17–33.)

6.1.4 Merenpinnan taso

Itämeren pinnan arvioidaan nousevan ilmastonmuutoksen johdosta. Pinnan nousuun vaikuttavat ensisijaisesti lämpenemisen aiheuttama jäätiköiden sulaminen ja veden lämpölaajeneminen. Molemmat tekijät ovat nykytilanteessa yhtä merkittäviä katalyyttejä muutokselle, mutta tulevaisuudessa mannerjäätiköiden sulamisen arvioidaan olevan suurin muutoksen lähde. (Pilli-Sihvola ym. 2018.) Globaali merenpinnan nousu on noin 25 % Itämerta voimakkaampaa (Grindsted 2015, 261). Pinnan nousu vaihtelee Suomen rannikoilla ollen arviolta 24–126 cm paikasta riippuen. Vuoteen 2100 mennessä Itämeren pinnan arvioidaan nouseen Suomenlahdella 29 cm (vaihteluväli -22...+92 cm) (Kuvio 5), laskeneen Selkämerellä -5 cm (vaihteluväli -66...+65 cm) ja laskeneen Perämerellä -27 cm (vaihteluväli -72...+28 cm). (Johansson, Pellikka, Kahma & Ruosteenoja 2014, Tallisen 2019, 28 mukaan.) Vaihteluväli arvioissa johtuu epävarmuudesta, joita vuosisadan loppuun asti ulottuvat skenaariot sisältävät. Erityisesti suurten mannerjäätiköiden kuten Grönlannin ja Länsi-Antarktisen reagoiminen tulevaisuuden ilmastoon on vaikeasti ennustettavissa (Pilli-Sihvola ym. 2018).

Itämeren pinnan nousua tasaa maankuoren kohoaminen, jossa maa palautuu viimeisimmän jääkauden aiheuttamasta puristuksesta noin 4–9 mm vuosivauhdilla. Maankuori nousee nopeimmin, arviolta noin 8–9 mm vuodessa, Merenkurkun-Perämeren alueella. Hitainta kohoaminen on Etelä-Suomessa ja Suomenlahden pohjukassa kohoaminen on erittäin vähäistä. Helsingissä maankuoren kohoamisvauhti on noin 4 mm vuodessa. (Johansson ym. 2014, Tallisen 2019, 28 mukaan.) Maankohoamisesta huolimatta merenpinnan odotetaan nousevan Helsingin edustalla useita kymmeniä senttimetrejä vuosisadan loppuun mennessä (Kuvio 17).

Itämeren pinnan nousemisen kehityksestä on esitetty eri tutkimuksissa vaihtelevia arvioita. Grindstedin mukaan pinnan nousu olisi keskimäärin 70 cm (vaihteluväli 40...100 cm) vuonna 2100, kun maankohoaminen otetaan huomioon. Tulokset on saavutettu kasvihuonekaasujen päästöskenaariolla, jossa päästöjen määrä alkaa loivasti vähenemään vuosisadan puolivälissä. Perämerellä pinta kuitenkin laskisi 35 cm maankohoamisen seurauksena. Suurimpien päästöjen skenaariossa nousu saavuttaisi keskimäärin 110 cm arvon. (Grindsted 2015, 261.) Tutkimuksessa on käytetty ICCP:n neljännen raportin (2007) mukaisia kasvihuonekaasujen skenaarioita. Vaikka eri tutkimuksissa arvioitu Itämeren pinnan nousu vaihtelee käytettyjen mallien mukaan, voidaan tulosten nähdä indikoivan Itämeren pinnan keskimääräistä nousua useilla kymmenillä senttimetreillä vuosisadan loppuun mennessä.



Kuvio 17. Keskimääräinen meriveden pinnan korkeus Helsingissä. Sininen viiva näyttää mitatut vedenkorkeuden vuosittaiset keskiarvot. Musta viiva esittää havaintojen pitkäaikaisen keskiarvon. Punaiset viivat esittävät skenaarion merenpinnan tulevaisuuden tasosta. Punaiset katkoviivat havainnollistavat tulevaisuuden skenaarion 5–95 % epävarmuusrajat. Skenaario on laskettu yhdistämällä useita ennusteita valtameren pinnannoususta ja siinä on otettu huomioon alueelliset poikkeamat globaalista keskiarvosta, maankohoaminen ja arviot tuuli-ilmaston muutoksesta. (Pilli-Sihvola ym. 2018.)

6.2 Sateisuus

Sademäärien osalta ilmastomallien ennusteet toimivat keskilämpötilojen mukaisesti, jolloin suurimpien kasvihuonepäästöjen skenaariot tuottavat suurimmat muutokset myös sadekertymissä. Vuosisadan mittaan sademäärän arvioidaan keskimäärin kasvavan Suomessa vuositasolla suurimmillaan 20 %. (Lehtonen ym. 2019, 15–16, 18.) Sateiden odotetaan lisääntyvän erityisesti talviaikaan ja muutos sademäärissä on voimakkaampi maan pohjoisosissa. Sateiden osalta ennustetut muutokset sisältävät suuremman epävarmuuskertoimen kuin keskilämpötilojen ennusteet. Epävarmuus johtuu muun muassa sateiden luonteesta paikallisina ilmiöinä, joiden vuosittainen vaihtelu on Suomessa hyvin suurta. Erityisesti rakkaimmat sateet ovat hyvin paikallisia ja pienialaisia. (Lehtonen ym. 2019, 15–16.) Ilmastomalleille lyhyiden sadetapahtumien, jotka ovat kestoltaan alle vuorokauden, prosessointi ja ennustaminen on erittäin vaikeaa (Mäkelä ym. 2016, 17).

Ilmaston lämpenemisen seurauksena juuri rankkasateiden ennustetaan voimistuvan jossain määrin jokaisena vuodenaikana. Merkittävältä osin tämän katsotaan johtuvan siitä, että lämpimämpi ilma pystyy sitomaan suuremman määrän vesihöyryä itseensä.

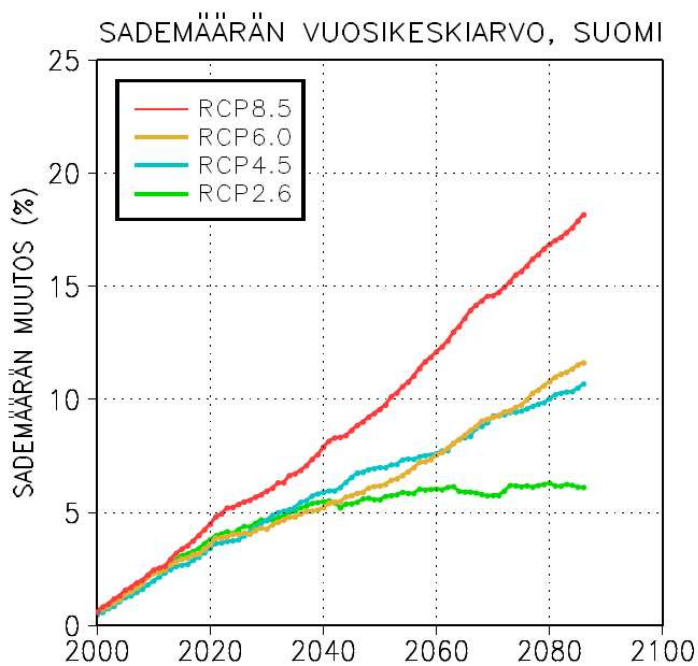
Rankkasateiden satunnaisuuden takia niissä tapahtuvia muutoksia on hankala havaita ja todentaa. Vielä rankkasateiden esiintymisessä ei ole voitu havaita todellisia muutoksia. (Lehtonen ym. 2020, 18.) Rankkasateet muodostavat sadeilmiöistä vaikutuksiltaan suurimman riskin yhteiskunnan normaalille toiminnalle. Kaupungit ovat erityisen alttiita rankkasateiden negatiivisille vaikutuksille. Suomen suurin sadekertymä on mitattu Espoossa 21.7.1944 Espoon Lahnuksessa, jossa ukkossade aiheutti yön aikana 198 mm sadekertymän. (Mäkelä ym. 2016, 16.)

6.2.1 Sademäärä

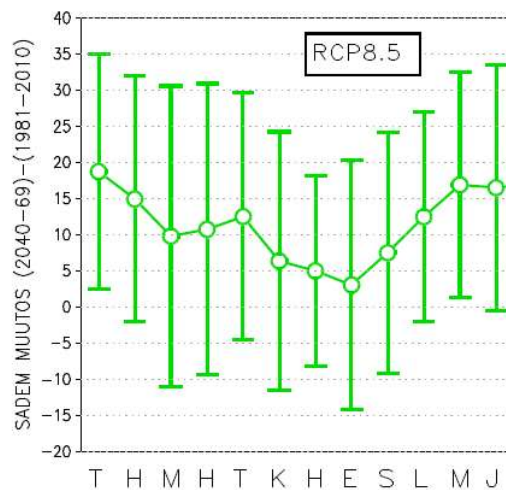
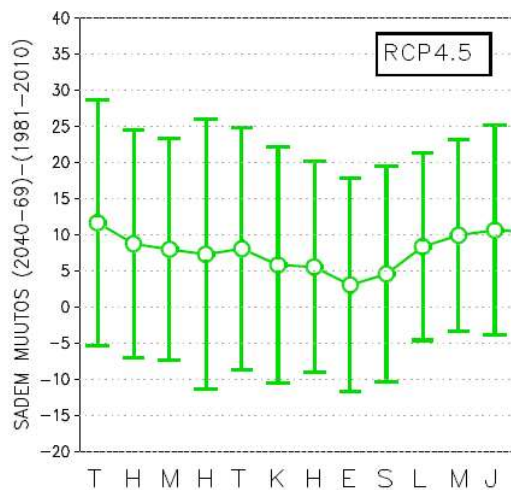
Tilastojen mukaan Suomessa sataa keskimääräisenä vuotena noin 500–700 mm, jonka jakauma sijoittuu niin että itä – ja eteläosissa sataa yleisesti jonkin verran enemmän kuin Pohjois-Lapissa ja Perämeren rannikolla. Ilmaston lämpenemisen seurauksena sademäärän odotetaan Suomessa kasvavan. RCP2.6 – RCP6.0-päästöskenaarioissa sademäärien ennakoitu kasvu vuosisadan loppuun mennessä rajoittuu noin 10 % tuntumaan ja RCP2.6-skenaariossa jopa sen alle (Kuvio 18). Suurimman päästöskenaarion, RCP8.5, arvioissa keskimääräinen sademäärän kasvu ylittää noin 20 % tuntumaan vuosisadan loppua lähesyttäessä. (Lehtonen ym. 2020, 18.)

Voimakkain lisäys ajoittuu talvikaudelle, jolloin sateiden esiintymistiheyden odotetaan nousevan (Kuviot 19 ja 20). Kesällä sadepäivien määrässä tai poutajaksojen pituudessa ei nähdä merkittäviä muutoksia, jolloin sademäärän kasvu aiheutuu voimakkaammista kerta-luonteisista sateista (Jylhä, Ruosteenoja, Räisänen & Fronzek 2012, 19). Osa ilmastomalleista arvioi sademäärien hieman pienenevän kesä-elokuussa, erityisesti Etelä- ja Itä-Suomessa (Lehtonen, Venäläinen, Kämäräinen, Peltola & Gregow 2016b, 241–242).

Pohjois-Suomessa sademäärien ennustetaan kasvavan hieman Etelä-Suomea enemmän. (Lehtonen ym. 2019, 15.) Esimerkiksi Itämeren pohjoisosissa kasvun arvellaan olevan noin 30 % luokkaa (Andersson ym. 2015, 345; Ruosteenoja ym. 2016, 31). Eurooppa tasollakin tarkasteltuna ilmastomallit ennakoivat sademäärien yleisesti kasvavan pohjoisessa ja vähenevän etelässä. (Lehtonen ym. 2020, 18.) Rannikkoalueen tulvien esiintymistiheys tulee Fennoskandiassa lisääntymään kasvavan sademäärän takia (Roudier, Andersson, Donnelly, Feyen, Greuell & Ludwig 2015, 15).



Kuvio 18. Sademäärän ennuste eri päästöskenaariolle vuosijaksolla 2000–2085. Vertailukohtana muutokselle on käytetty vuosien 1981–2010 jakson keskiarvoa (prosentteina). Laskennassa on käytetty 28 maailmanlaajuisen ilmastomallin tulosten keskiarvoja. (Ruosteenoja ym. 2016, 24.)



Kuviot 19 ja 20. Muutos sademäärissä prosentteina ilmaistuna vertailtaessa jaksoja 1981–2010 ja 2040–2069. Käyrä näyttää 28 maailmanlaajuisen ilmastomallin laskelmien keskiarvoa. Pystyylväät havainnollistavat laskelmien 90 % todennäköisyysväliä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyy RCP4.5-skenaariion ja oikeanpuoleisessa kuvassa RCP8.5-skenaariion tuottamat tulokset. Luvut ovat Suomen alueen keskiarvoja. (Lehtonen ym. 2020, s 19).

6.2.2 Lumipeite

Kimmo Ruosteenojan, Kirsi Jylhän ja Matti Kämäräisen tekemässä ilmastoprojektiotutkimuksessa, jossa laskettiin 28 ilmastomallin antamia tuloksia Suomen tulevasta ilmastosta, havaittiin selkeästi, että Suomen talvet ovat muuttumassa tulevaisuudessa vetisemmäksi ja pimeämmäksi. Lähestyttäessä 2000-luvun ensimmäisen vuosisadan loppua sademäärän arvioidaan Suomessa lisääntyvän talvisin lähes 30 %, suoran auringon säteilyn määrän ennustetaan vähenevän enemmän kuin 10 % ja vuorokausilämpötila-alueen pienentyvän 30 %. (Ruosteenoja ym. 2016, 24.)

Vaikka sademäärän ennustetaan lisääntyvän talvella, tulee lumisateiden kokonaismäärä pienenevän lämpenemisen takia (Lehtonen ym. 2020, 21). Lumipeitteinen aika lyhenee koko Suomessa, jolloin lumipeite sataa myöhemmin syksyllä ja sulaa pois aiemmin keväällä. Arktisella alueella lumipeitteen keston arvioidaan lyhenevän 10–20 % vuoteen 2055 mennessä RCP8.5-skenaariolla ja jopa yli 30 % Euroopan ja Länsi-Alaskan arktisilla alueilla (Brown ym. 2017, 45). Vesisateiden määrä lisääntyy erityisesti talven alku- ja loppupäässä. Etelä-Suomen sateista voi tulla yli puolet vetenä myös tammi-helmikuun aikana, kun lähestytään vuosisadan loppua. Lounaisimmissa osissa Suomea lumisateet vähenevät vuosisadan puolivälissä kolmanneksella ja yli 50 % kun lähestytään 2100-lukua. Lapissa muutos on selvästi pienempi, arvioiden mukaan alle 20 %. (Räisänen 2016.) Vähentyneet lumisateet pienentävät kevättulvien määrää mutta lisääntynyt sadanta nostaa puolestaan talvitulvien riskiä. Vaikutukset tulviin ovat suurempia Etelä- ja Keski-Suomessa, sillä Pohjois-Suomen tilannetta vakauttaa pysyvämpi talvinen lumipeite. (Lehtonen ym. 2020, 23.)

Lumipeitteessä tapahtuvia muutoksia on Suomessa tutkittu Kemijoen, Lieksanjoen ja Kymijoen vesistöjen alueilla. Tutkimuksessa on käytetty uudempia CMIP5-ilmastomalleja muutosennusteiden laskemisessa. Tulokset osoittavat, että vuosisadan puolivälissä Kymijoen valuma-alueella lumen vesiarvo tippuu puolella vuosien 1981–2010 tilanteeseen verrattuna, kun käytetään RCP4.5-skenariota laskelmien pohjana. Vuosisadan vaihteessa lumipeitteen määrä jatkaa edelleen vähenemistä. Lieksanjoen valuma-alueella lumipeitteen puolittuminen saavutettaisiin vuosisadan lopulla. Myös Kemijoen valuma-alueella lumipeitteen ennustetaan ohenevan läpi talven, vaikka suurusluokka on edellisiä pienempi. (Veijalainen, Ruosteenoja, Uusikivi, Mäkelä & Vehviläinen 2018, 20–25.)

Tutkimuksessa ilmastonmuutoksen aiheuttamista vaikutuksista puiden lumikuormaan, havaittiin että suurimmat lumikuormat tulevat kasvamaan Pohjois-Karjalasta Lappiin ulottuvalla alueella, kun taas muualla maassa ne tulevat pieneneväksi. Merkittävin tekijä lumikuorman syntymiselle on tarttuva lumisade ja hurre, jota muodostuu, kun ilmassa leijuva vesihöyry tiivistyy kylmälle pinnalle tai alijäähtyneet vesipisararat osuvat kohteen pinnalle.

Huurteen esiintymiselle otollisimmat olosuhteet yleistyvät juuri Itä- ja Pohjois-Suomessa. Märän lumen aiheuttama lumituhot yleistyvät ilmaston lämmitessä Oulun seudusta Pohjois-lappiin yltävällä alueella. Eteläisessä ja Lounaisessa Suomessa tulee myös esiintymään lumituhoja tulevaisuudessakin mutta niiden esiintymistiheys harvenee aikaisemmasta. (Lehtonen, Kämäräinen, Gregow, Venäläinen & Peltola 2016a, 2260–2267.)

6.3 Kuivuus

Ilmastonmuutoksen aikaansaama lämpötilan nousu tulee kiihdyttämään haihduntaa. Suomen olosuhteissa aikaisempi historia näyttää sadannan vuositasolla ylittävän haihdunnan määrän. Vaikka haihdunta kasvaa nousevan lämpötilan myötä, ei ennustemallien mukainen lisääntynyt sademäärä riitä täysin tasapainottamaan tilannetta. Tämä johtaa siihen, että kuivuuden odotetaan Suomessa hieman yleistyvän. 1900-luvun lopun ilmasto-olosuhteiden mukaisesti luokitellun harvinaisen kuivan maanperän tapahtumien ennustetaan lisääntyvän kaikkina vuodenaikoina. Voimakkaimmillaan muutos näkyy keväällä ja Pohjois-Suomessa myös kesäaikaan. Suurimpien kasvihuonepäästöjen RCP8.5-skenaariossa ennusteet näyttävät 1900-luvun lopussa kerran vuosikymmenessä esiintyneen kuivuuden toistuvuuden lisääntyvän keväisin ja Pohjois-Suomessa myös kesällä 3–5 kertaiseksi. Lähimpien vuosikymmenien aikana ei kuitenkaan nähdä näin suurta kuivuuden lisääntymistä. (Lehtonen ym. 2020, 18–19.)

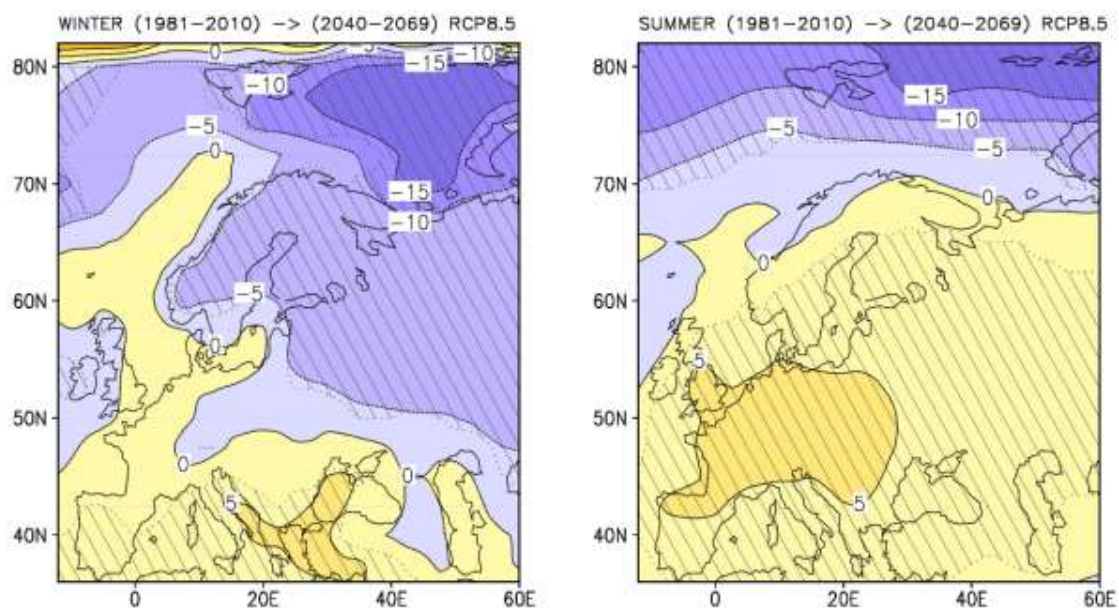
Kuivuminen kasvukaudella lisää maasto- ja metsäpalojen riskiä merkittävästi. Yli 10 hehtaarin suurehkojen metsäpalojen arvioidaan lisääntyvän tulevaisuudessa (Lehtonen ym. 2016, 247, 251). Ilman suhteellisen kosteuden, 2 metrin korkeudelta mitattuna, ennustetaan vähenevän päivätasolla keskiarvoisesti 0–6 %-yksikön verran Suomessa vuosisadan loppuun mennessä. RCP4.5-skenaariossa suhteellisen ilmankosteuden arvioidaan vähenevän vuosisadan aikana keskiarvoisesti noin 2 % ja RCP8.5-skenaariossa noin 3 %. (Lehtonen ym. 2016b, 240–241.)

6.3.1 Auringonsäteily

Ilmastonmuutoksen aiheuttama lämpeneminen kutistaa lämpötilaeroa päiväntasaajan ja napa-alueiden välillä. Tämä heikentää lämpötilaeroa kompensoivaa länsivirtausta keskileveysasteilla, joka puolestaan johtaa matalapainerintamien voimistumiseen ja niiden liikkeiden hidastumiseen. Säärintamien liikkua hitaasti paikallaan pysyvät säätyypit tulevat Suomessa yleistymään. Kesällä pitkäaikainen korkeapaine aiheuttaa voimakasta auringonsäteilyä ja kuivuutta. Syksyllä ja talvella paikallaan pysyvä matalapaine sen sijaan lisää pilvisyyttä ja jaksoittaista sateisuutta. (Kotakorpi 2021, 47.)

Talvella Suomen ilmaston ennakoidaan muuttuvan atlanttisemmaksi. Atlanttisella ilmastolla tarkoitetaan aiempaa pilvisempää säätä marraskuun ja maaliskuun välisenä ajanjaksona. Kasvihuonekaasujen RCP8.5-skenaariossa auringonsäteilyn määrän odotetaan vähenevän talvella noin 5–10 % vuosien 2040–2069 tarkastelujaksolla verrattuna vuosien 1981–2010 jaksoon (Kuviot 21 ja 22). Kesällä auringonsäteilyn ennakoidaan sen sijaan lisääntyvän, erityisesti maan eteläosissa, mutta suurimpienkin kasvihuonepäästöjen skenaariossa muutos on keskimäärin alle 5 %. Auringonpaisteen suurin lisäys osuu ennustemallien mukaan elo-syyskuulle. (Lehtonen ym. 2020, 29.)

Auringonpaisteen määrä ajassa mitattuna tulee todennäköisesti kaiken kaikkiaan lisääntymään, sillä auringonpaistetuntien lisääntyminen kesällä aiheuttaa voimakkaamman muutoksen kuin niiden väheneminen talvikautena, jolloin vuorokauden valoisa aika on muutenkin lyhyimmillään. Eri ilmastomuutosmallien antamissa tuloksissa on nähtävissä saman suuntainen kehitys, jossa auringonsäteilyn määrä vähenee talvella ja lisääntyy eteläisessä Suomessa kesällä. Tuloksissa on kuitenkin eroja kehityksen voimakkuudessa. Pienimmillään muutoksen voimakkuus voi vastata tilannetta, jossa säilytään lähes nykyisessä tasossa. Suurimmillaan muutos voi kuitenkin olla noin 5–10 % luokkaa. (Lehtonen ym. 2020, 29.)



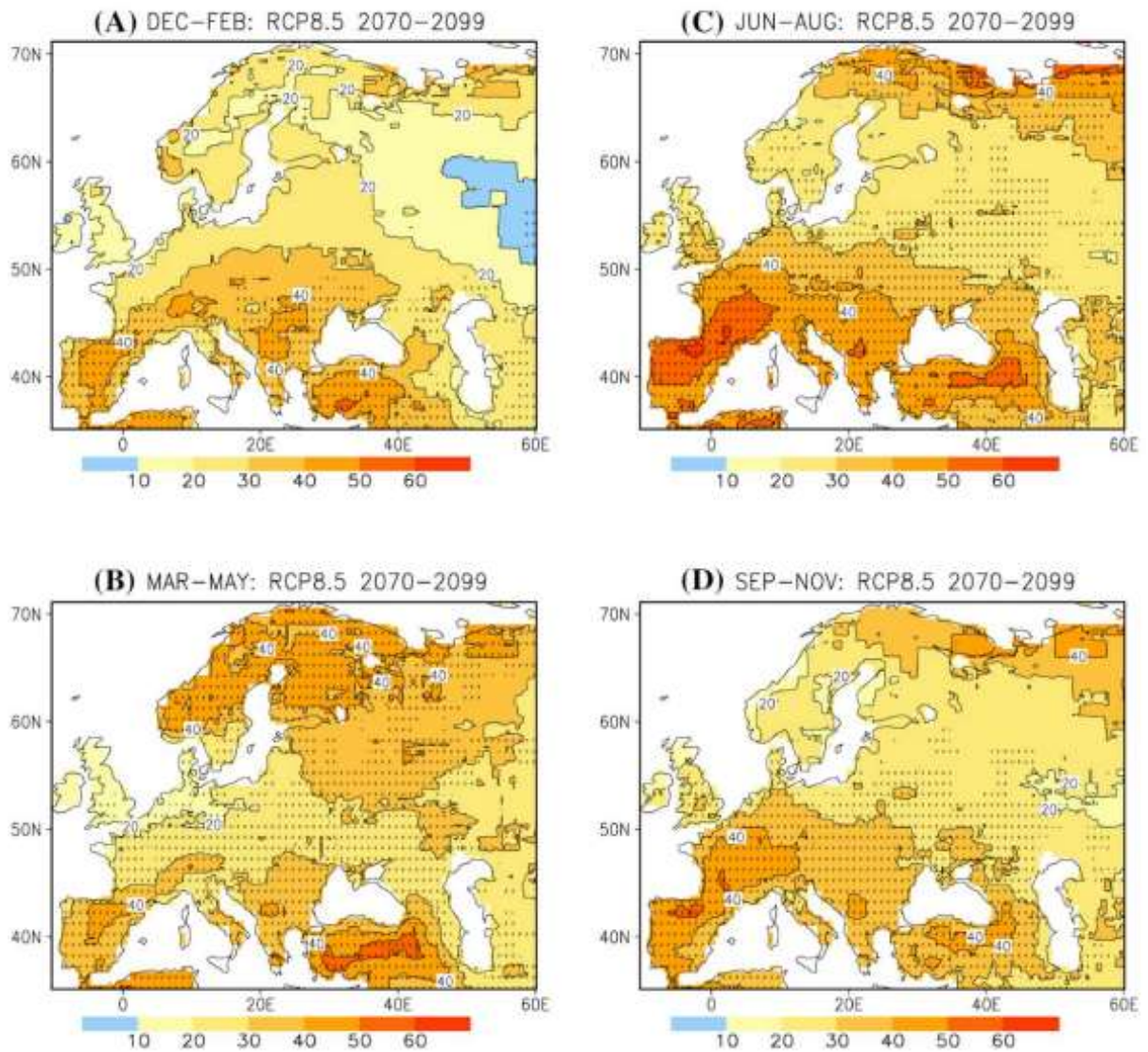
Kuviot 21 ja 22. Ilmastomallien ennustama auringonsäteilyn määrän muutos prosentteina RCP8.5-skenaariolla Euroopassa jaksolla 2040–2069 verrattuna jaksoon 1981–2010. Vasemmanpuoleinen kuva näyttää talvikuukausien ja oikeanpuoleinen kuva kesäkuukausien tulokset. Kuvassa ovat 28 ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvo. Varjostetuilla alueilla vähintään 22 mallia ennustaa samankaltaista muutosta. (Ruosteenoja ym. 2016, 30.)

6.3.2 Maaperän kosteus

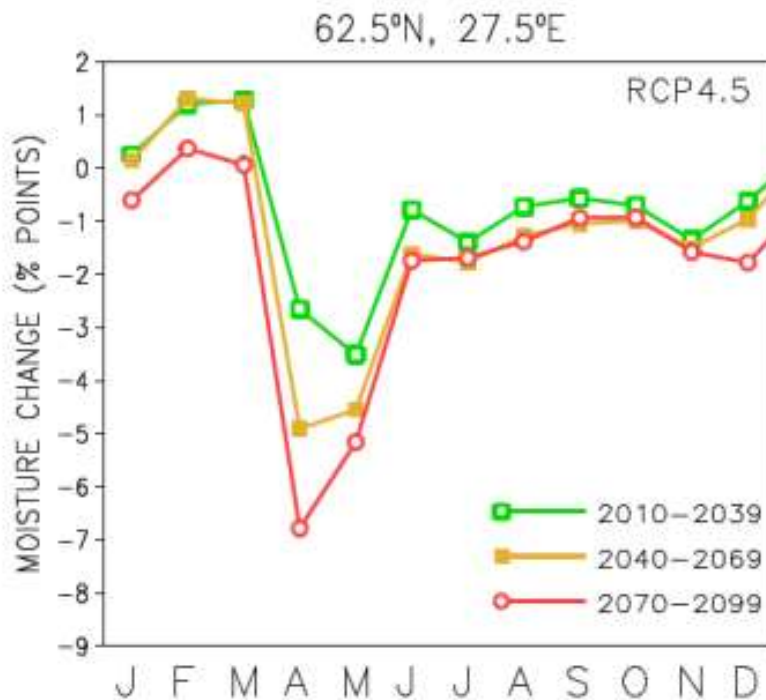
Ilmastonmuutoksen takia maaperän kosteuden ennustetaan pienenevän lähes koko Euroopassa kuluvaan vuosisadan aikana (Kuviot 23, 24, 25 ja 26). Poikkeuksellisen kuivan maaperän kaudet tulevat myös yleistymään menneisiin vuosikymmeniin verrattuna. Vaikutukset ovat Suomessa hyvin kausiluonteisia painottuen kevääseen, jolloin maaperän pintakerroksen kuivuus yleistyy eniten. (Ruosteenoja, Markkanen, Venäläinen, Räisänen & Peltola 2017, 5–6.)

Maaperän pinnanläheisemmän osan (10 cm syvyys) kosteustilannetta on simuloitu Pohjois-Savon eteläosassa sijaitsevassa hilapisteessä kasvihuonepäästöjen RCP4.5-skenaariolla (Kuvio 27). Mallin tuottamista tuloksista näkyy muutoksen olevan varsin maltillinen. Keskiarvotulosten mukaan maaperän pinnanläheisimmän osan kosteussisältö pienenee kesällä ja syksyllä noin 1–2 % mutta keväällä muutos on noin 4–7 % luokkaa. (Venäläinen, Ruosteenoja & Lehtonen 2019, 22.) Erityisesti kevään aikana, huhti-toukokuussa, yleistyvä maaperän kuivuus johtuu suurelta osin lumien aikaisemmasta sulamisesta. Kevättalven kuukausien, helmi-maaliskuun, osalta kosteussisällön ennustetaan sen sijaan vähän kasvavan. Tuloksien osalta tulee huomioida, että pienikin muutos keskiarvossa voi johtaa merkittäviin muutoksiin, erityisesti kuivien kausien lisääntyessä. (Lehtonen ym. 2020, 19, 21.)

Kuivuminen on arvioiden mukaan vuosisadan alkupuolella voimakkainta toukokuussa ja vuosisadan puolivälissä huhtikuussa. Vuosisadan loppua kohden kuivumista esiintyy myös talvisin ja keväisin mikä on linjassa kevään aikaistumisesta tehtyjen ennusteiden kanssa. Kesäaikaan muutoksen on arvioitu olevan pienimmillään ja tätä tukee ennusteet haihduntaa vähentävästä sademäärän lisääntymisestä. (Ruosteenoja ym. 2017, 6.) Suurimmat vaihtelet Suomen sisällä koetaan kesä-elokuussa, jolloin Pohjois-Suomessa maaperän kosteuden arvioidaan pienenevän noin 8 % vuosien 1971–2000 tasoon nähden. Länsi-Suomessa sen sijaan maaperän kosteus pysyy likimain vertailujakson arvoissa. (Ruosteenoja ym. 2017, 15.)



Kuviot 23, 24, 25 ja 26. Kerran kymmenessä vuodessa jaksolla 1961–2005 ilmastossa esiintyneen maaperän 10 cm syvyyteen ulottuvan harvinaisen alhaisen kosteuden esiintymisen todennäköisyys yksittäisenä vuotena jaksolla 2070–2099 RCP8.5-skenaarion laskelmilla. Kuviossa 23 A tarkoittaa tavikuukausia, kuviossa 24 B kevätkuukausia, kuviossa 25 C kesäkuukausia ja kuviossa 26 D syyskuukausia. Kuvassa näkyy 26 ilmastomallin keskiarvoiset tulokset, joista pisteytetty osa edustaa vähintään 23 ilmastomallin perusteella saman suuntaista muutosta. (Ruosteenoja, Markkanen, Venäläinen, Räisänen & Peltola 2018, 19.)



Kuvio 27. Maaperän ylimmän 10 cm kerroksen kosteuden ennustettu muutos %-yksikköinä hilapisteessä 62,5 °N, 27,5 °E. Laskelmissa on käytetty RCP4.5-skenaariota ja vertailu on suoritettu jakson 1971–2000 keskimääräisiin arvoihin. Vuosien jaksot on jaettu väreillä niin että vihreä käyrä näyttää vuodet 2010–2039, kellanoranssi 2040–2069 ja punainen 2070–2099 (Venäläinen ym. 2019, 22).

6.4 Ilmanpaine

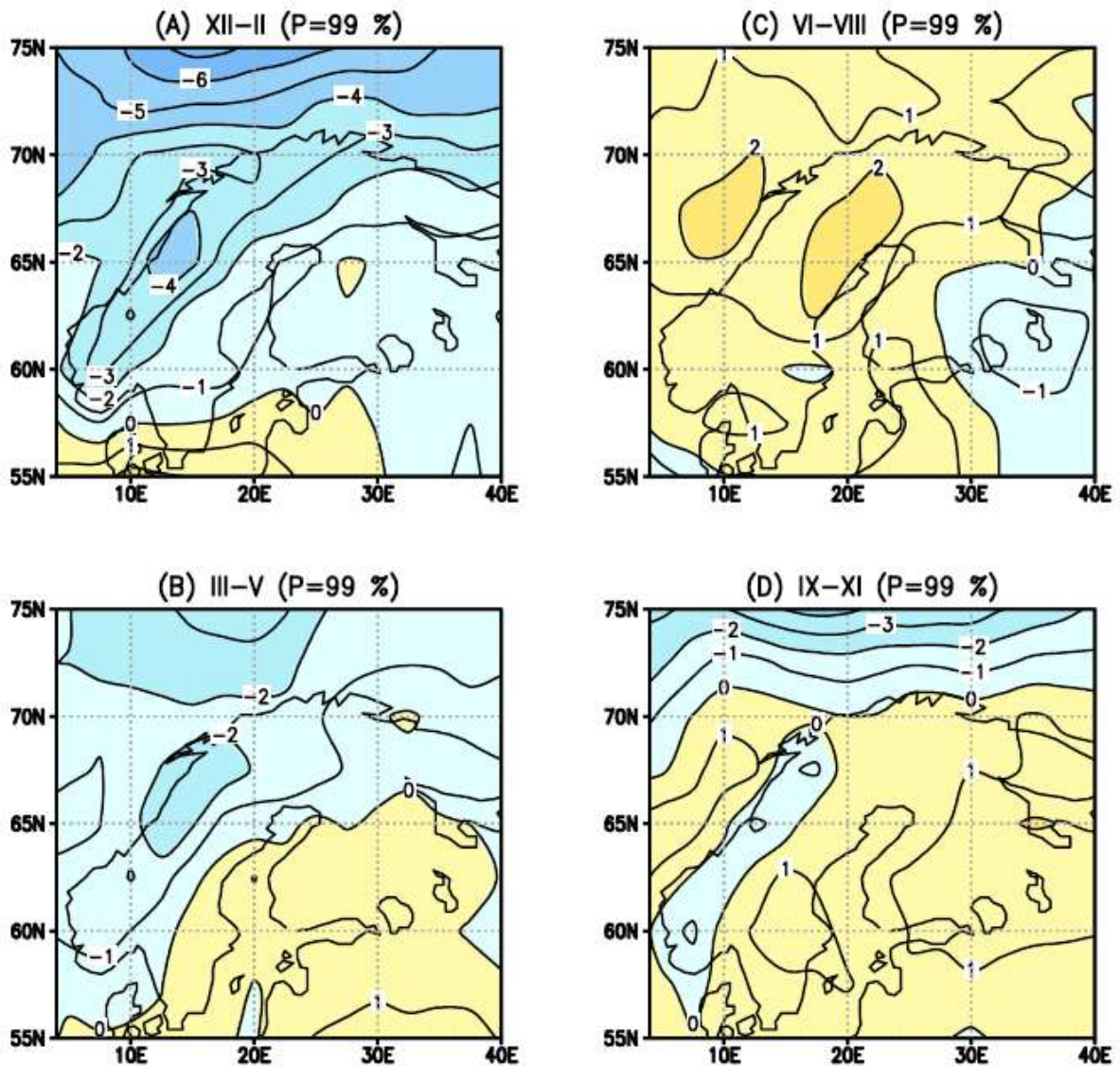
Ilmanpaine-eroista johtuvien tuulten voimakkuuksiin ilmastonmuutoksella ei näyttäisi ennusteiden mukaan olevan yhtä suurta vaikutusta kuin keskilämpötiloihin ja sademääriin (Lehtonen ym. 2019, 22). Suomi sijaitsee vyöhykkeellä, johon vaikuttaa lämpötilaeroista johtuva länsivirtaus. Matalapaineita liikkuu Pohjois-Euroopan yllä ympäri vuoden mutta syksyisin ja talvisin niitä esiintyy selvästi runsaammin, kun lämpötilaero pohjoisnavan ja päiväntasaajan välillä on suurimmillaan. Vaikka ilmastonmuutos pienentää tätä lämpötilaeroa tulee sen vaikutus säilymään kuluvalle vuosisadalle. Atlantin meriveteen on pohjoisen kesän aikana varastoitunut lämpöä, joka voimistaa lännestä tulevia matalapaineita ja mahdollistaa niiden muuttumisen myrskyiksi syys- ja talvikaudella. Myrskyiksi luokitellaan Suomessa matalapaineet, jotka saavuttavat 21 m/s keskituulen nopeuden. Ilmaston muuttuminen vaikuttaa sääjärjestelmiin ja se nostaa erittäin voimakkaiden myrskyjen esiintymisen todennäköisyyttä. (Kotakorpi 2021, 221.)

6.4.1 Tuulisuus

Pitkäaikaiset havaintosarjat tuulen nopeuksista Suomessa osoittavat, että keskimääräiset ja voimakkaammat tuulet ovat viimeisten vuosikymmenien aikana vähän heikentyneet. (Laapas & Venäläinen 2017, 4808.) Ilmatieteenlaitos on julkaissut vuonna 2019 tuuli-ilmastot muutoksia käsittelevän tutkimuksen, joka painottuu suuren mittakaavan tuulijärjestelmiin. Tutkimuksen tulokset perustuvat 21 maailmanlaajuisen ilmastomallin tuloksiin ja arviot koskevat geostrofisen tuulen voimakkuuksia. Geostrofisella tuulella tarkoitetaan paine-eron aikaansaamaa ilmavirtausta, jonka suunta on ilmanpaineen samanarvonkäyrien mukainen ja joka esiintyy muutaman kilometrin korkeudella, jolloin siihen ei vaikuta maanpinnan aiheuttama kitka. Maan pinnan rosoisuus vaikuttaa tuuleen hidastamalla sitä ja samalla kääntäen tuulen suuntaa vasemmalle. (Lehtonen ym. 2019, 22–23.)

Silti geostrofisen tuulen ja maan pinnan läheisen tuulen arvioidaan olevan suhteellisen verrannollisia toisiinsa nähden. Kovien tuulten lisäys Suomessa kasvuhuonepäästöjen RCP8.5-skenaariolla laskettuna näyttää mallitulosten keskiarvon perusteella olevan 0–3 % luokkaa. Talviaikaan ja keväällä Pohjois-Suomessa kovien tuulten esiintyvyyden ennustetaan hieman laskevan. Kuviossa 28, 29, 30 ja 31 näkyy kovien tuulten voimakkuuksien ennustettuja muutoksia eri vuodenaikoina Pohjois-Euroopassa. (Lehtonen ym. 2019, 22–23.)

Saman suuntaisia tuloksia on saavutettu toisessa 2016 vuonna tehdyssä tutkimuksessa, jossa tutkittiin Euroopassa esiintyvien kovien tuulten muutoksia alueellisilla ilmastomalleilla. Tutkimus keskittyi nykyilmastossa kerran 50 vuodessa toistuvien tuulen nopeuksien esiintymisessä ennakoituihin muutoksiin. Tilastollisesti muutokset eivät olleet Suomen alueella merkittäviä. Kovimmat tuulet näyttäisivät vuosisadan loppupuolta lähestyttäessä maa-alueilla yleisesti hieman harvinaistuvan. RCP8.5-skenaariossa merialueilla, sekä Eteläisessä Suomessa myös sisämaan puolella, kovimmat tuulet näyttävät jonkin verran yleistyvän. (Groenemeijer, Vajda, Lehtonen, Kämäräinen, Venäläinen, Gregow, Becker, Nissen, Ulbrich, Morales Nápoles, Paprotny & Púčik 2016, 23–27.)

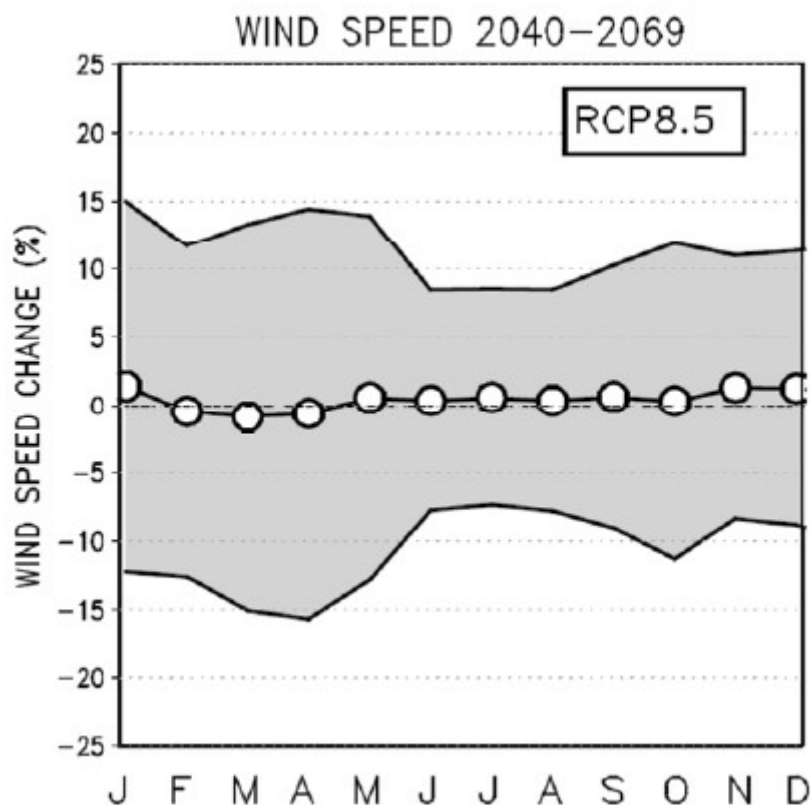


Kuviot 28, 29, 30 ja 31. Ennuste kovien tuulten muutoksesta Pohjois-Euroopassa jaksolla 2040–2069 verrattuna jaksoon 1961–2005, RCP8.5-skenaarion mukaan. Kuvio 28 (A) esittää talvikuukausia, kuvio 29 (B) kevätkuukausia, kuvio 30 (C) kesäkuukausia ja kuvio 31 (D) syyskuukausia. Kuva esittää geostrofisen tuulen voimakkuuden todennäköisyysjakaman 99. prosenttipistearvon muutosta 21 ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvona. (Lehtonen ym. 2019, 23.)

Geostrofisten tuulten suunnasta ennusteet viittaavat lännen ja luoteen puoleisten kovien tuulten lisääntyvän jonkin verran, kun taas idän puoleisia kovia tuulia odotetaan esiintyvän aikaisempaa vähemmän. Geostrofisen tuulen suunnan muutos maanpinnan läheisyydessä voi olla jopa 45° , joka tarkoittaa luoteen suuntaisten geostrofisten tuulten muuttuvan maanpinnalla lännen suuntaisiksi tuuliksi. Tulokset osoittavat kovien lännenpuoleisten tuulten esiintyvyyden lisääntyvän vuosisadan puolivälissä noin 10–20 % verrattuna 1900-luvun

lopun ilmastoon. Nykyisessä ilmastossa luoteen, lännen ja lounaan suunnalta koetaan kovia tuulia useimmin ja tulevaisuudessa kehitys voimistuu entisestään. (Lehtonen ym. 2019, 25.)

Vaikka mallitulosten keskiarvoilla tarkasteltuna kovien tuulien esiintymisissä ennustetut muutokset ovat pieniä, on huomioitava, että eri ilmastomallien tuottamat tulokset tuulten nopeuksien muutoksista eroavat huomattavasti toisistaan. Yksittäiset ilmastomallit voivat ennustaa paljon suurempiakin muutoksia (Kuvio 32). Suurempi yhteneväisyys ilmastomallien tuloksissa koskee lännenpuoleisten tuulten yleistymistä. (Lehtonen ym. 2020, 25.)



Kuvio 32. Kuukausittaisten keskituulennopeuksien prosentuaaliset muutokset suurten kasvihuonepäästöjen 8.5RCP-skenaarion mukaan laskettuna. Ympyrät esittävät mallitulosten keskiarvoa ja harmaa alue 90 %:n epävarmuusaluetta. (Ruosteenoja ym. 2016, 26.)

6.4.2 Myrskyt ja rajuilmat

Myrskyjen esiintymisessä on paljon satunnaista vaihtelua vuosien ja vuosikymmenien välillä ja todella voimakkaita myrskyjä koetaan Suomessa hyvin harvoin. Myös normaalia voimakkaampia myrskyjä on kuitenkin mahdollista esiintyä vallitsevien olosuhteiden mukaisesti, eikä sillä välttämättä ole syy-yhteyttä ilmastomuutokseen (Lehtonen ym. 2019, 23). Tuulituhojen riskissä ei ole havaittu suuria muutoksia pitkän aikavälin seurannassa

viimeisten vuosikymmenien aikana (Jokinen, Vajda & Gregow 2015, 99–100). Usein yksi tai vain pieni määrä myrskyjä vastaa tietyn alueen pitkän aikavälin myrskytuhojen syntymisestä (Lehtonen 2020, 23). Talvella ja Pohjois-Suomessa myös keväällä matalapaineisiin liittyvien tuulien ennustetaan mallitulosten perusteella heikkenevän. Kesällä matalapainemyrskyt ovat kausiluonteisesti heikompia, jolloin ainoastaan syksyn ajanjaksolla voidaan odottaa myrskyjen hieman vahvistuvan mutta silloinkin muutokset ovat vain 1 % luokkaa. (Lehtonen ym. 2019, 23.)

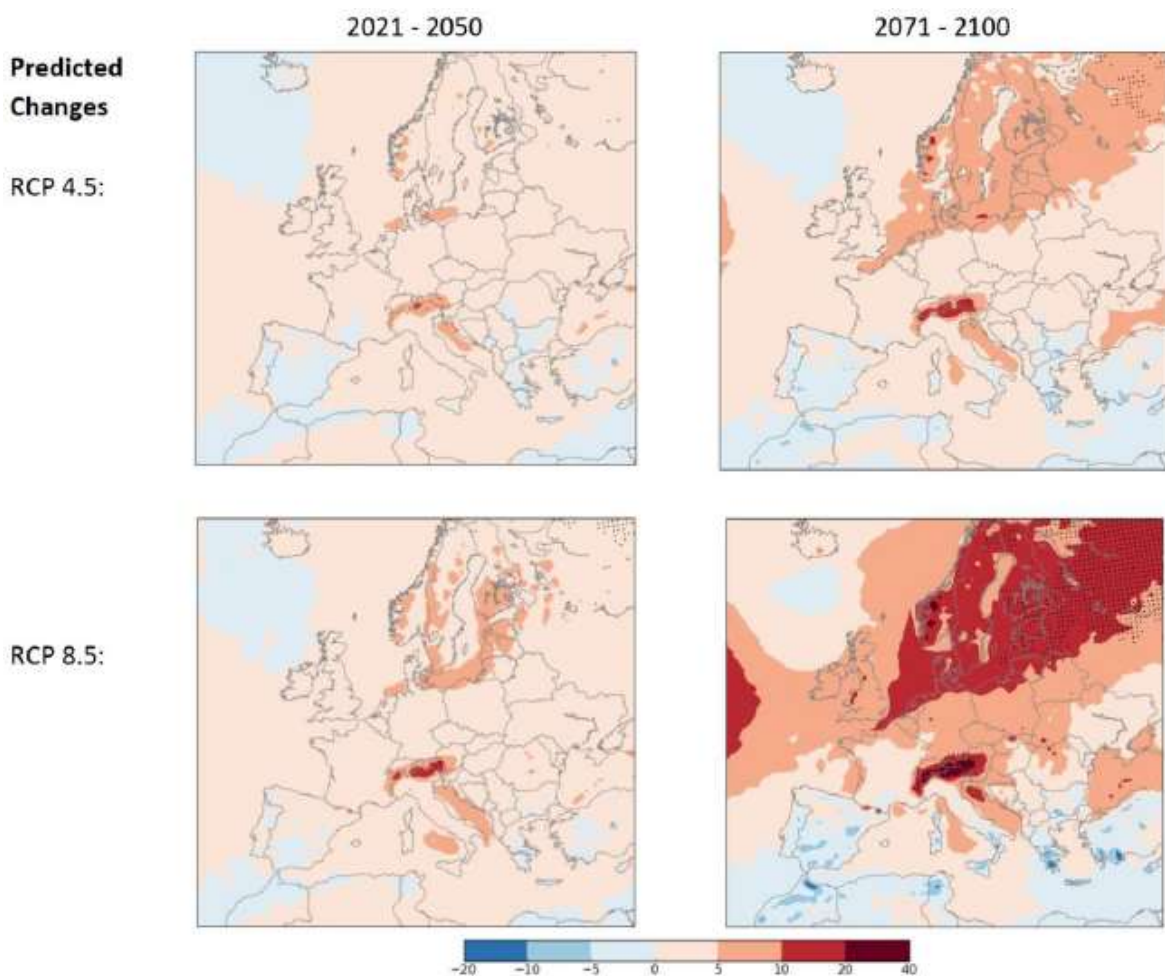
Matalapainemyrskyjen muodostumiseen keskileveysasteilla vaikuttaa vahvimmin ilmamasojen väliset lämpötilaerot. Pohjoisen napa-alueen lämpeneminen ilmastonmuutoksen takia on suhteellisesti voimakkaampaa kuin maapallolla keskimäärin. Tämä pienentää lämpötilaeroja eteläisempiin leveysasteisiin verrattuna ja sen voidaan nähdä matalapainemyrskyjä heikentävänä tekijänä. Kuitenkin ylempänä ilmakehässä tämän lämpötilaeron arvioidaan sen sijaan kasvavan mikä puolestaan taas mahdollisesti voimistaisi myrskyjä (Shaw, Baldwin, Barnes, Caballero, Garfinkel, Hwang, Li, O’Gorman, Rivière, Simpson & Voigt 2016, 657–660). Myrskyratojen oletetaan keskimäärin siirtyvän enemmän kohti napa-alueita. Keskileveysasteiden matalapainemyrskyjen määrässä ei ilmastonmuutoksen takia odoteta kasvua mutta voimakkaita myrskyjä esiintyy suhteellisesti enemmän ja samalla sateet voimistuvat. (Sinclair, Rantanen, Haapanala, Räisänen & Järvinen 2020, 21–23.)

Ilmastonmuutoksen myötä lämpenevä ilmasto pystyy sitomaan enemmän kosteutta, joka johtaa suurempaan lämpötilaeroon troposfäärin ala- ja yläosien välillä. Nämä olosuhteet yhdessä ilmakehän epävakauden kanssa luovat edellytykset voimakkaille kesäajan ukkosille ja rajuilmoille. Ukkosten syntyyn tosin liittyy myös monia muita tekijöitä lämmön ja kosteuden lisäksi. Silti ilmastomallitulosten perusteella kesäisiä rajuilmoja ja ukkosia suosivat olosuhteet tulisivat lisääntymään. Samalla suurikokoisten rakeiden esiintymistiheyden ja kovien myrskypuuskien odotetaan lisääntyvän. Vielä tämän suuntaista kehitystä ei ole havaittu. Kuten edellä on todettu myrskyjen osalta, myös ukkosten esiintymisessä on suurta vaihtelua vuosien ja vuosikymmenien välillä. Mitään selkeää trendiä 1800-luvun lopulta tilastoiduissa tapauksissa ei ole nähtävissä. (Lehtonen ym. 2019, 27–28.) Salamoinnin määrä on tosin pudonnut selvästi 1980-luvulta lähtien (Laurila & Mäkelä 2019). Havaitut muutokset salamoinnissa saattavat selittyä vielä myöhemmin vuosikymmenten välisellä satunnaisella vaihtelulla. (Lehtonen ym. 2020, 25.)

RAIN-hankkeessa on tutkittu rajuilmoja edistävien olosuhteiden kehittymistä Euroopassa ilmastonmuutoksen seurauksena RCP4.5- ja RCP8.5-skenaarioiden mukaisesti (Groenemeijer ym. 2016, 142–147). Vaikka ukkosille ja rajuilmoille suotuisien olosuhteiden arvioidaan lisääntyvän, on muutos pieni kuluvaan vuosisadan puoliväliä tarkasteltaessa.

Suurempi muutos Suomen alueella nähdään RCP8.5-skenaariolla vuosisadan loppupuolella, jolloin ukkosille ja rajuilmoille suotuisien olosuhteiden arvioidaan yleistyvän reilulla 10 % 1900-luvun lopun ajanjaksoon verrattuna (Kuviot 33, 34, 35 ja 36).

Vielä on epävarmaa, kuinka ukkosille ja rajuilmoille suotuisien olosuhteiden lisääntyminen näkyy niiden määrässä tai voimakkuuksissa. Todennäköisimpänä vaihtoehtona pidetään ukkosten ja rajuilmojen voimistumista tulevaisuudessa. (Lehtonen ym. 2019, 27–28.) Tätä arviota tukee tutkimus, jossa havaittiin katastrofaalisten myrskyjen voimistuneen tilastollisesti merkittävästi vuoden 1990 jälkeen Länsi-, Keski-, ja Pohjois-Euroopan alueella (Gregow, Laaksonen & Alper. 2017, 2, 4).



Kuviot 33, 34, 35 ja 36. Rajuilmoille suotuisien olosuhteiden ennustettu kehitys Euroopassa vuosina 2021–2050 ja 2071–2100 verrattuna jaksoon 1971–2000. Ylemmät kuviot 33 ja 34 ovat ennusteet kasvihuonepäästöjen RCP4.5-skenaariolle ja alemmat kuviot 35 ja 36 RCP8.5-skenaariolle. Vasemmanpuoleiset kuviot 33 ja 35 näyttävät jakson 2021–2050 ja oikeanpuoleiset kuviot 34 ja 36 jakson 2071–2100. (Groenemeijerin ym. 2016, 145.)

6.5 Yhteenvedo ilmastonmuutoksen vaikutuksista

Taulukko 1 esittää suuntaa antavan arvion ilmasto-olosuhteiden kehityksestä kuluvaan vuosisadan loppua lähestyttäessä Etelä-Suomen alueella verrattuna 1900-luvun lopun ilmasto-olosuhteisiin. Taulukon tiedot ovat koostettu kappaleen 6 ennusteiden pohjalta.

Kategoria	Muuttuja	jouluhelmi	maaliskouku	kesä-elo	syysmarras	Vuosi	Kommentti
Lämpötila	Keskilämpötila	++	++	+	++	++	Nousu on pienintä kesällä
	Roudan määrä	--	--	0	0	--	Turvepohjaisilla mailla routaa ei enää esiinny juuri ollenkaan RCP8.5-skenaariossa
	Jään määrä	--	--	0	0	--	Jäätymis- ja sulamisvaiheiden vaihtelu lisääntyy talven aikana
	Merenpinnan taso	++	++	++	++	++	Keskimääräistä vuodenaikaiskiertoa ei ole huomioitu
Sateisuus	Sademäärä	+	+	/	+	+	Talvella sadepäivien määrä lisääntyy ja erityisesti kesällä rankkasateet voimistuvat
	Lumen määrä	--	--	0	0	--	Vesisateiden määrä lisääntyy erityisesti talven alku- ja loppupuolella
Kuivuus	Auringonsäteily	-	/	+	/	+/	Vaikutus kesäaikaan on suurempi kuin talvella jolloin päivä on lyhyempi
	Maaperän kosteus	-/	--	/	-/	-	Kasvanut sademäärä ei riitä täysin kompensoimaan lämpötilan noususta johtuvaa maaperän kuivumista
Ilmanpaine	Tuulisuus	-/	+/	+/	+/	+/	Yksittäiset ilmastomallit ennustavat suurempia tuulisuuden muutoksia mutta keskiarvoisesti muutokset ovat pieniä
	Myrskyt ja rajuilmat	/	/	(+)	(+)	(+)	Myrskyille ja rajuilmoille suotuisat olosuhteet tulevat lisääntymään mutta tilastoissa ei näy vielä selkeää muutosta

Taulukko 1. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat arvioidut ilmasto-olosuhteiden muutokset Etelä-Suomen alueella 2000-luvun ensimmäisen vuosisadan loppupuolella (mukailen Jylhä, Ruosteenoja, Räisänen, Venäläinen, Tuomenvirta, Ruokolainen, Saku & Seitola 2009, 63). Kategoria ilmoittaa ilmastosuureen. Muuttuja kertoo ilmastosuureen ilmasto-olosuhteisiin vaikuttavan tekijän. Merkkien selitykset ovat:

- ++ *Lisääntyy/nousee merkittävästi*
- + *Lisääntyy/nousee.*
- / *Säilyy suunnilleen ennallaan*
- - *Vähenee/laskee*
- -- *Vähenee/laskee merkittävästi*
- 0 *Ei osata sanoa tai merkityksetön*
- () *Muutos hyvin epävarma*

7 Tulokset

Edellisessä luvussa käsiteltiin ilmastomallien tuottamia arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomessa. Tässä luvussa kuvataan puolestaan haastatteluissa ilmi tulleita ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomenlinnan aineelliseen kulttuuriperintöön. Luku on ositettu Suomenlinnan aineellisesta kulttuuriperinnöstä tämän tutkimuksen luvussa 4.4 muodostetun jaottelun mukaisesti osa-alueisiin (Kuvio 9). Haastatteluiden teemarungon mukaisesti valikoitu ja pelkistetty tutkimusmateriaali lisättiin sellaisenaan tämän tutkimuksen liitteeksi (LIITE 7). Tämän osion ulkopuolelle rajautunutta haastattelumateriaalia hyödynnettiin soveltuvin osin kappaleen 9 materiaalina.

7.1 Maisema

Maisemaan vaikuttavista ilmastonmuutoksen tekijöistä haastatteluissa nousivat erityisesti esille keskilämpötilan nousu, sekä syksy- ja talvikaudella kasvavat sademäärät. Maisemanhoitotarve ja korjausvelka tulee tämän takia tulevaisuudessa kasvamaan huomattavasti. Lämpenevän ilmaston myötä vierailijoiden määrä Suomenlinnassa tulee todennäköisesti lisääntymään. Erityisesti tämä tulee näkymään kesäkaudella, jolloin kuumien ja kuivien kausien ennustetaan lisääntyvän. Myös lumen väheneminen talviaikaan altistaa alueet pidempiaikaiselle käytölle mutta voi samalla myös vaikuttaa kävijämääriin negatiivisesti. Maiseman esteettisyys ja sitä kautta talvitapahtumat kärsivät lumettomuudesta. Talvikauden vähäinen kävijämäärä voi merkitä rahallisia menetyksiä ja vaikuttaa alueen elinvoimaan negatiivisesti. Kasvava turismi vaikuttaa kuitenkin vuositasolla alueen kulumiseen ja ympäristön kuormittumiseen negatiivisesti.

Kelirikon aikana tapahtuva alueiden käyttö lisää merkittävästi eroosiota ja johtaa kulutukselle altistuneiden alueiden kasvillisuuden vähenemiseen. Kelirikolla viitataan tässä tutkimuksessa sääolosuhteiden aiheuttamaan alueiden ja väylien kulkukelpoisuuden heikkeneemiseen maa-alueilla. Kunnossapitokaluston käyttöä voidaan joutua rajoittamaan kelirikon aikana liian pehmeän maaperän takia (Kuva 6). Lämpenemisen takia kelirikon vaikutusaika tulee pitenemään ja sitä kautta maaperän kulutuskestävyys heikkenemään. Lisääntyvät rankkasateet aiheuttavat maa-aineksen huuhtoutumista pois eroosiosta kärsineiltä alueilta ja lisäävät maanvyörymiä erityisesti rinne alueilla. Ranta-alueiden eroosio ja rakenteiden rasitus kasvaa sulana pysyvän meren ja voimistuvien tuulten aiheuttaman aallokon seurauksena. Tämä köyhdyttää ranta-alueen kasvillisuutta ja aiheuttaa kivi- sekä maa-aineksen huuhtoutumista mereen. Tuulisuus lisää kulumiselle altistuneiden alueiden eroosiota siirtäen niistä hiekkaa ja maa-ainesta pois kuivien kausien aikana.

Vaikka Suomenlinnan on Valtioneuvoston periaatepäätöksellä määritelty autottomaksi alueeksi, joudutaan huoltotöiden takia alueella käyttämään raskasta kalustoa. Tämä liikenne kohdistaa painetta väylien lähellä olevien puiden juurille erityisesti kelirikon aikana. Talvikaudella lepovaiheessa olevan puuvartisen kasvillisuuden kaatumisen riski kasvaa roudattomuuden ja tuulisuuden kovenemisen seurauksena. Puuston lumituhojen määrä tulee pienemään vähenevän lumimäärän johdosta. Lumettomina kausina maaperän lämpötila laskee, joka saattaa aiheuttaa puustolle juuristovaurioita. Sen sijaan roudattoman maan päälle satanut lumi säilyttää maaperän lämpötilan korkeampana, mikä kiihdyttää mikrobien hajoitusaktiivisuutta ja ravinteiden mineralisoitumista. Tämä lisää puuston versokasvua keväällä.



Kuva 6. Kelirikon aikana maaperä on pehmeää ja kuluu voimakkaasti.

Lämpenevät talvet altistavat kasvillisuutta voimakkaammin ympäristön olosuhteille ja sääntä ääri-ilmiöille. Pidempään sulana pysyvistä maaperästä voi valua runsaammin ravinteita mereen sademäärien kasvaessa, mikä heikentää kasvien elinmahdollisuuksia. Kasvillisuutta suojannut lumipeitteinen aika tulee lyhentymään ja mahdollisesti puuttumaan

kokonaan vuosisadan loppua lähestyttäessä. Tämä helpottaa osittain kohteen maisemahoidollisia tehtäviä ja vihertyöntekijät voivat aloittaa työnsä aikaisemmin. Kasvitautilien ja tuholaisten elinolosuhteet kuitenkin paranevat lämpimämmässä ja kosteassa ilmastossa ja niitä tullaan todennäköisesti havaitsemaan useammin. Lämpenevä ilmasto auttaa erityisesti tulokaslajien levittäytymistä mutta mahdollistaa myös vieraslajien menestymisen alueella. Osa vieras- ja tulokaslajeista syrjäyttää vakiintuneita lajeja sekä aiheuttavat muuta haittaa paikalliselle ekosysteemille. Haitallisten vieraslajien torjunnasta aiheutuvat kustannukset voivat nousta, vaikka torjuntaa suoritettaisiinkin pääosin vapaaehtoisvoimin. Ympäristöön päätyvien myrkkujen minimoimiseksi torjuntaa suoritetaan Suomenlinnassa mekaanisesti.

Lämpeneminen häiritsee kasvillisuuden luontaista vuodenvaihtelua, jolloin kasvukauden aloitus saattaa aikaistua. Liian aikainen kasvukausi altistaa kasvillisuuden hallalle ja pakkasvaurioille sään vaihdellessa kevään aikana. Esimerkiksi ruotsalaisen kauden merkittävin kasvi, Syreeni, on joinakin leutotalvisina vuosina kasvattanut isot silmut jo helmikuussa, jotka ovat paleltuneet myöhemmin esiintyneissä pakkasissa. Kasvuolosuhteet saattavat osittain parantua sateisuuden ja lämmön lisääntyessä mutta pitkällä aikavälillä maaperän kosteuden on arvioitu vähenevän. Tämä johtuu siitä, että kasvanut sademäärä ei riitä kompensoimaan keskilämpötilan noususta johtuvaa haihtumista. Maaperä ja kasvillisuus ei myöskään ehdi hyödyntämään kesällä lisääntyvien rankkasateiden vesimäärää.

Keväällä aikaistuva lumien sulaminen ja kesällä lisääntyvät kuumat kaudet voivat johtaa kuivuutta paremmin kestävien kasvilajien yleistymiseen. Kuivuminen aiheuttaa Suomenlinnassa hiekka-alueiden pölyämistä sekä nurmi- ja heinäkavillisuuden luontaista kulottumista. Suomenlinnassa luontainen kulottuminen sallitaan pois lukien historiallisesti merkittäviä puistot, joita kastellaan kuivina kausina. Kastelutarve tulee lisääntymään pidempään kestävien kuumien kausien aikana. Maaston syttymisherkkyys tulee kesäkausina kasvaamaan ja aiheuttamaan suuremman maastopalariskin koko alueelle.

Merijään väheneminen tai sen puuttuminen laskee ahtojäistä aiheutuvaa vaurioriskiä rantarakenteille ja laivanhylyille. Kovien tuulien lisääntyminen hankaloittaa kunnossapitotöitä ja lisää työturvallisuusriskejä. Erityisesti merellä tehtävä kulttuuriperinnön tutkimustyö hankaloituu, jolloin tietoa voi jäädä keräämättä. Nouseva merenpinta tulee muuttamaan Suomenlinnan maisemaa merkittävästi. Nykyisten arvioiden mukaan muutos voi olla vuosisadan loppua lähestyttäessä jopa yhden metrin, luokkaa mutta asiaan liittyvien epävarmuuksien johdosta olisi syytä varautua vielä korkeampiin lukuihin. Eräs haastateltavista nosti tärkeän asian esille. Vastaako Suomenlinna maisemaltaan sitä eheää kokonaisuutta, joka maailmanperintökohteeksi hyväksyttiin vuonna 1991, mikäli merenpinta nousee huomattavasti?

7.2 Linnoitteet

Linnoitteisiin ilmastonmuutoksen arvioitiin vaikuttavan eniten talviaikaan kasvavan kosteuden sekä kesäaikaisen kuivuuden kautta. Linnoituslaitteiden kunnossapitotarve ja korjausvelka tulee muuttuvissa olosuhteissa kasvamaan. Lämpenemisen seurauksena talvikaudella roudaton maa ei ohjaa sadevettä pois päin linnoituslaitteista. Veden paine linnoituslaitteilla on suurempi ja vesi saattaa liikkua jopa osittain ylös märkiä maamassoja pitkin kohti rakenteita. Kosteuden ja pakkaskausien vaikutuksesta linnoituslaitteiden muuraus rapautuu. Perinteiset limitykset ja vedeneristykset, kuten tuohi ja savi, eivät enää toimi yhtä hyvin kosteammassa ilmastossa. Perinteisiä korjausmenetelmiä ei voida kaikissa kohteissa, jolloin alkuperäisyys ja autenttisuus kärsii. Myös sulana pysyvistä merestä nousee enemmän linnoituslaitteisiin vaikuttavaa kosteutta ja suolaa jääpeitteiseen mereen verrattuna. Rantamuurit todennäköisesti kestävät hyvin korkeamman merenpinnan ilmiöitä, varsinkin silloin kun ne ovat rakennettu perinteisin menetelmin. Merijää ja virtaukset kuluttavat rantamuuureja voimakkaammin, joten merijään vähentyminen alentaa rantamuu-reihin kohdistuvaa rasitusta.

Linnoituksissa käytetyn perinteisen laastin rapautuminen nopeutuu lisääntyvän kosteuden takia. Laasti säilyy pilvisessä ja kosteassa talvi-ilmastossa pitkiä aikoja kosteana eikä pääse kuivumaan. Mahdolliset pakkasjaksot kohdistavat kosteaan laastiin suuren rasituksen, kun laastin huokosiin ja halkeamiin tunkeutunut vesi laajenee jäätyessään. Korjaustöissä voidaan joutua käyttämään perinteisten korjausten sijaan vaihtoehtoisia, paremmin muuttuvia olosuhteita kestäviä materiaaleja. Tämä laskee kohteiden autenttisuutta ja alkuperäisyyttä mutta on välttämätöntä kokonaisuuden säilyttämiseksi. Erityisesti tuulisuuden koventuminen yhdessä lisääntyvien sademäärien ja hitaasti liikkuvien, länsivirtauksen tuomien, matalapaineiden kanssa aiheuttaa etelän ja lännen välisille seinustoille suuren kosteusrasituksen. Viistosateet vaikuttavat eniten juuri tämän ilmansuunnan vastaisiin julkisivuihin.

Suomenlinnan linnoituslaitteiden päällä olevilla maavalleilla kulkee useita polkuja ja kävelyreittejä. Nämä alueet altistuvat kulutukselle, jota kesäkaudella lisääntyvät kuivat kaudet ja talvikaudella pidentyvä kelirikko aika pahentavat. Kuivuuden seurauksena maamassaa sitova kasvillisuus kuolee ja maavallit sekä ampumatasanteet altistuvat voimakkaammin eroosiolle. Itse muuratuille rakenteille kuivuus ja kuumuus on suotuisa ja niitä hyvin säilyttävä ympäristö. Kesäkaudella turistien määrän arvioitu kasvu tulee todennäköisesti pahentamaan eroosion vaikutusta.

Lisäksi kovenevat tuulet puhaltavat kuivunutta maamassaa ja hiekkaa kuluneilta alueilta pois, erityisesti ranta-alueilla, joissa ongelma korostuu. Kesäiset rankkasateet iskevät eroosiosta kärsineisiin linnoituslaitteiden maamassoihin irrottaen niistä maa-ainesta mukanaan ja siirtävät kivetyksiä (Kuva 7). Runsaiden sateiden aiheuttamat hulevedet muodostavat kohonneen riskin tulvimiselle linnoituslaitteiden maanalaisiin rakenteisiin.



Kuva 7. Linnoituslaitteiden päällä olevaa maamassaa ja siinä kasvavaa heinäkasvillisuutta.

7.3 Artefaktit

Artefakteihin ei haastattelujen perusteella kohdistu ilmastonmuutoksen takia niin moninaisia vaikutuksia kuin muihin aineellisen kulttuuriperinnön osa-alueisiin. Suurin osa Suomenlinnan esillä olevista, tai olosuhteille altistuvista artefakteista perustuvat metalliin ja kiveen. Näistä hyviä esimerkkejä ovat rannikkolinnoituksen puolustamiseen käytetyt tykit, Suomen asevoimissa palvelleet sukellusvene Vesikko ja muistokivi Mortuis (Kuva 8).

On hyvä huomata, että osa alueen artefakteista on maanpinnan alla tai meren pohjassa, eikä niitä ole vielä löydetty. Arkeologisesti kiinnostavia kulttuurikerroksia on kuitenkin ehtinyt kerrostua Suomenlinnaan useiden vuosisatojen ajan. Suomenlinnan maailmanperintökohteeseen kuuluvalla merialueella on myös nähty aktiivisia sotatoimia useilla ajanjaksoilla, jotka ovat omalta osaltaan lisänneet merenpohjassa sijaitsevaa kulttuuriperintöä. Puupohjaisiin artefakteihin vaikuttavat samat tekijät kuin rakennusten ja infrastruktuurinkin osalta. Lisääntyvä kosteus ja lämpö nopeuttaa niiden hajoamisprosessia ja toisaalta kuivat kaudet aiheuttavat puumateriaalin halkeilua ja säilytymistä.

Metalliin perustuvan kulttuuriperinnön hajoamisprosessi, eli korroosio, kiihtyy ilmaston lämpenemisen ja kosteuden lisääntymisen seurauksena. Syys- ja talvikauden kohonneet sademäärät ja sulana pysyvistä merestä nouseva kosteus ja suola vaikuttavat negatiivisesti artefakteihin. Korroosion kiihtyminen koskee niin maalla kuin merenpinnan alla olevia kohteita.

Metalliin perustuvan vedenalaisen kulttuuriperinnön suojelemisessa on kohdistettava resursseja ja valittava kohteita niin, että kokonaisuuden kannalta merkittävimpiä kohteita asetetaan etusijalle. Esimerkiksi meren pohjassa sijaitsevia tykkeitä ei kannata suojata, sillä niitä on maa-alueella useita kappaleita säilyneenä. Korroosio on muutenkin kokonaisuudessaan hidas prosessi. Myös kivimateriaalit altistuvat voimakkaammalle kulumiselle lisääntyvien sateiden, vaihtelevien pakkaskausien ja lämpenevän ilmaston yhteisvaikutuksesta.



Kuva 8. Suomenlinnassa näytteillä oleva sukellusvene Vesikko.

Kesäkauden kuumat ja kuivat jaksot voivat nopeuttaa muinaismuistojen hajoamisprosesseja. Niiden materiaalien täytyy mukautua ympäristöissä tapahtuviin muutoksiin, jolloin ne luovuttavat itseensä varastoitunutta kosteutta pois ja tällöin materiaali voi alkaa muun muassa halkeilla. Tämä halkeilu koskee erityisesti orgaanisesta materiaalista, kuten puusta valmistettuja artefakteja.

7.4 Infrastrukturi

Infrastrukturi Suomenlinnassa on erityisen haavoittuvainen merenpinnan nousulle. Monet ylläpito- ja huoltotoiminnalle oleelliset alueet, kuten varikko, huoltorannan alue ja rantaväylät sijaitsevat merenpinnan nousun riskialueella. Arvioiden mukaan ilmastonmuutoksen myötä voimistuvat myrskyt tehostavat nousevan merenpinnan vaikutuksia laajemmalle yltävien myrskytulvien muodossa. Nouseva merenpinta rapauttaa ja tuhoaa kantavan maakerroksen, jonka varaan tiet on rakennettu. Tieyhteyksiä saattaa katketa ja lauttaliikenne voi häiriintyä erityisesti myrskytulvien yhteydessä. Riski saaren ylläpito- ja huoltotoiminnan häiriintymiselle tai katkeamiselle kasvaa. Toimintoja, rakennuksia voidaan joutua siirtämään uusille alueille ja suojarakenteita joudutaan paikoitellen rakentamaan. Esimerkiksi

polttoaineen jakeluaseman uudelleen sijoittamista pois tulvariskin alueelta kaavaillaan jo tällä hetkellä. Varautumiseen on budjetoitava tulevaisuudessa merkittävästi varoja.

Kuivatelakan alue altistuu erittäin voimakkaasti nousevalle merenpinnalle ja voimistuville myrskyille. Telakan portin aluetta on jouduttu suojaamaan tulvavarustuksilla jo aikaisemmin, esimerkiksi 2000-luvun alkupuolella esiintyneissä myrskyissä. Merivesi voi päästä kuivatelakan altaisiin myös täyttömaan läpi, kun merenpinta kohoaa riittävästi. Telakan 1700-luvulla rakennetun patorakenteen puuosien säilyvyys pysyy hyvänä merenpinnan kohoamisen seurauksena, sillä puuaineksen hajoaminen hidastuu Itämeren olosuhteissa. Maan kohoaminen ei ennusteiden mukaan riitä kompensoimaan ilmastonmuutoksesta aiheutuvaa merenpinnan nousua Helsingin edustalla.

Kasvava kosteus ja lisääntyvät sateet vaikuttavat myös negatiivisesti Suomenlinnan infrastruktuuriin. Suomenlinna on rakennettu osittain peruskalliolle ja täyttömaalle. Ajan myötä sadevesikaivoja, salaojia ja sadevesijärjestelmää on luotu mutta se ei kata kaikkia alueita. Järjestelmä ei myöskään pysty käsittelemään ennusteiden mukaan yleistyviä rankkasateita. Rankkasateet huuhtovat maakerrosta pois, siirtävät kivetyksiä, vaurioittavat teitä ja tukkivat vedenohjauksjärjestelmiä irtoaineksella. Lisääntyvä kosteus ja leudot talvet altistavat puurakenteita biologisille vauriotekijöille, kuten lahottajille ja hyönteisille. Puurakenteet eivät pääse kuivumaan ja niiden suojaamisessa korostuvat hengittävät puunsuoja-aineet, kuten perinteiset maalit. Puun kuivumista estävät käsittelyjä on vältettävä. Kosteus ja siihen yhdistyvät toistuvat jäätymis- ja sulamissykliä rasittavat ja rapauttavat infrastruktuurin rakenteita ja lyhentävät niiden käyttöikä. Loppukesän kuumat ja kuivat kaudet puolestaan kuluttavat teknistä kunnossapitokalustoa ja saattaa lyhentää niiden elinkaarta.

Auringon uv-säteily vaikuttaa erityisen haitallisesti puusta tehtyihin rakenteisiin. Puunso-lukko suojautuu uv-säteilyltä, jonka seurauksena siihen ilmestyy mikrotason halkeilua. Kuivumisen edetessä pidemmälle, puu säilyy vähitellen. Massiivipuorakenteissa tämä kehitys ei ole kuitenkaan niin merkittävää tai nopeaa mutta sillä on silti vaikuttavuutta lämpenevässä ilmastossa, erityisesti etelän puoleisilla rakenteiden osilla. Maaston ja rakenteiden syttymisherkkyys lisääntyy huomattavasti, kun kuivat ja paahteiset kaudet lisääntyvät loppukesästä ilmastonmuutoksen seurauksena. Lisääntyvän turismin kanssa tämä muodostaa palovaaran riskitason nousun tulevaisuudessa.

Lämpeneminen vähentää vesiputkien jäätymistä ja siitä aiheutuvia putkirikkoja. Samoin roudan teille ja kulkuväylille aiheuttamia routavauriot vähenevät. Roudattomuus heikentää maaston kantavuutta mikä saattaa vaikeuttaa raskaammilla koneilla tehtävää huolto- ja kunnossapitotoimintaa. Kulkuväylien kulumisen lisääntyy keskilämpötilan nousun ja sateisuuden lisääntymisen takia. Kulkuverkoston ja siltojen ajoittaista jäätymistä edelleen

esiintyy vaihtelevien lämpötilojen takia, mutta kosteuden lisääntyminen tehostaa jääty-misen vaikutusta. Yllättävät ja erittäin liukkaat olosuhteet nostavat vierailijoiden ja kohdetta ylläpitävien työntekijöiden liukastumisen riskiä hetkittäin. Liukkauden torjunnan tarve koko-naisuudessaan vähenee.

Voimistuvat tuulet ja myrskyt nostavat ylläpito- ja korjauskustannuksia, sekä haittaavat kunnossapitotöitä ja lisäävät työturvallisuusriskejä. Myrsky- ja tuulivahinkojen laajuus kasvaa ja niiden seuraukset ovat vakavampia, vaikka myrskyjen esiintymistiheys ei ennusteiden mukaan nousekaan. Korjaustöiden ajaksi huputetut kohteet ovat erityisen alttiita voi-makkaille tuulille. Voimakkaat ilmanpaineen vaihtelut voivat voimistaa merivirtauksia, jotka aiheuttavat suurempaa rasitusta rantarakenteille. Vanhat ja arvokkaat puut ovat herkkiä vaurioitumiselle ja kaatumiselle kovissa myrskytuulissa. Puutuhaja saattaa tosin esiintyä myös terveeksi luokiteltujen puiden joukossa. Kaatuvat puut voivat vaurioittaa rakennuk-sia, rakenteita ja tukkia kulkuväyliä.

7.5 Rakennukset

Rakennukset tulevat arvioiden mukaan kohtaamaan ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset vakavimmin lisääntyvän sateisuuden, kosteuden ja toistuvien sulamis- ja jääty-missykliä kautta. Lämpötilan sahaaminen nollan molemmin puolin lisääntyy tämän het-ken arvioiden mukaan tulevina vuosikymmeninä. Vuosisadan loppua lähestyttäessä kehi-tykseen on vaikuttanut voimakkaasti se, kuinka hyvin kasvihuonepäästöjä on onnistuttu vuosisadan alkupuolella rajoittamaan ja miten paljon ilmasto on sitä kautta lämmennyt. Suurten kasvihuonepäästöjen skenaariossa lämpenemisen voidaan nähdä vähentävän sulamis- ja jäätymissykliä määrää. Lämpenemisen takia myös routa harvinaistuu ja ra-kennusten perustuksiin kohdistuva rasitus ja niiden mahdollinen liikkuminen roudan voi-masta vähenee. Kelirikon aika vaikuttaa pidemmän aikaa ja voi vaikeuttaa tai estää raken-nusten kunnossapitokaluston käyttöä.

Muuratut rakenteet, laasti ja tiilipinnat kuluvat ja rapautuvat sateiden, pakkasten ja lämpe-nevän ilmaston yhteisvaikutuksesta. Muurattujen rakenteiden korjauksissa eri vuosikym-meninä käytetyt erilaiset materiaalit voivat toisistaan poikkeavien ominaisuuksiensa takia tehostaa rapautumista korjausmateriaalikerrosten välillä. Esimerkiksi 1800-luvun kasarmit ovat muurattuja rakenteita, joissa on käytetty 70- ja 80-luvuilla sementtilaasteja rappauk-sessa. Perinteinen laasti on erityisen altis jatkuvan kosteuden aiheuttamalle rapautumi-selle. Autenttisuuden ja alkuperäisyyden vaatimuksista voidaan joutua joustamaan tule-vissa korjauksissa.

Viistosateita esiintyy useammin lisääntyvän kosteuden ja tuulisuuden yhteisvaikutuksesta, ja ne kastelevat erittäin tehokkaasti rakenteet sekä ohjaavat sadeveden kattolappeiden alle. Viistosateiden myötä etelän, lounaan ja lännen puoleiset julkisivut joutuvat suuremmalle kosteudelta johtuvalle rasitukselle. Tämän suuntainen kehitys on jo nyt havaittavissa. Yhä suurempi osa talvikauden sateista tulee tulemaan vetenä, ja lumesta aiheutuvat lumikuormat rakennusten katoille pienenevät. Harvinaiset lumitykki-ilmiöt ovat kuitenkin Suomenlahdella edelleen mahdollisia. Lumitykki-ilmiö muodostuu, kun idästä tai pohjoisesta työntyy kylmää ilmaa lauhan Suomenlahden ylle. Tällöin merelle muodostuvat sankat lumisateet voivat ajautua rannikolle ja lyhyen ajan lumisateen sademäärä voi olla useita kymmeniä senttimetrejä. Lumituhoja voi siis lämmenneessäkin ilmastossa esiintyä.

Arvioiden mukaan rakennusten kosteusvauriot tulevat lisääntymään. Suomenlinnassa sadevesien ohjaus on osittain puutteellista rakennusajankohdasta ja maan pintaa nostavien arkeologisesti merkittävien kulttuurikerrosten kasautumisesta johtuen. Lisääntyvien rannikasateiden yhteydessä irtoava maa-aines ja hiekkaa tukkii vedenohjausjärjestelmiä ja huivesitulvia esiintyy varsinkin rakennetussa ympäristössä. Rakenteet pysyvät syys- ja talvikautena pidempään märkinä, jolloin ilmankosteus on korkeampi lisääntyvän sademäärän, pilvisyyden ja sulan meren vaikutuksesta. Puurakenteet altistuvat pidempiaikaisen kosteuden ja lauhkeiden talvien takia laajemmin biologisille vauriotekijöille. Lahottajille altistunut puu toimii myös hyönteisille hyvänä elinympäristönä. Puun suojauksessa on suositettava perinteisiä maaleja niiden hengittävyiden takia. Meriveden pinnan noustessa riski meriveden pääsulle rakenteisiin kasvaa. Suojaustoimenpiteitä ja tulviin varautumista tulee tehdä, mikä aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia.

Kesäkaudella paahteiset kaudet luovat edulliset olosuhteet maalaustöille, sekä kattojen että puurakenteiden korjauksille. Laastia käyttäviin korjauksiin liika kuumuus aiheuttaa ongelmia laastin liian nopean kuivumisen kautta. Puurakenteet kärsivät auringon uv-säteilystä kesäkuukausina ennustetun auringonsäteilyn lisääntymisen johdosta. UV-säteilylle alttiimpia ovat eteläseinustojen puurakenteet, joihin aurinko paistaa suurimman osan päivästä. Puun suojauksen merkitys korostuu erityisesti ohuemmissa puurakenteissa. Hyvin korkeat pintalämpötilat voivat vaikuttaa myös pinnansuojausmateriaaleihin negatiivisesti. Auringon säteilyn lisääntyminen näkyy vielä suhteellisesti enemmän meren saarilla, joilla pilvisuus on jo nykyisessä ilmastossa manteretta vähäisempää kesäkausina. Tämä kehitys tulee jatkumaan myös lämpenevässä ilmastossa. Syys- ja talvikaudella pitkään märkinä pysyneet rakenteet pääsevät kuivumaan kuumien kausien aikana ja esimerkiksi rakennusten alapohjissa kosteuden määrä voi vähentyä. Palovaaran riski rakennuksille koittaa, jos kuivuutta ja kuumuutta on jatkunut pitkään.

Rakennuksiin kohdistuu keskimäärin suurempi vaurioitumisriski ennustetun kovenevan tuulisuuden ja myrskyjen takia ja ne haittaavat useammin korjaus- ja kunnossapitotöitä. Katto- ja peltivaurioita sekä muita vahinkoja esiintyy useammin. Huputetut työmaat ovat erityisen haavoittuvia koville tuulille. Samalla työturvallisuusriskit nousevat ja vauriot aiheuttavat ylimääräisiä korjauskustannuksia. Roudattoman maan ja kovien tuulien yhteisvaikutuksesta puita kaatuu useammin, ja ne aiheuttavat läheisille rakennuksille suuremman vahinkoriskin. Puiden poistamisessa on otettava huomioon muuttuvat tuuliolosuhteet, jotka vallitsevat alueella poistojen jälkeen. Muutos voi olla suuri, kun jäljelle jääneet puut ja rakennukset ottavat vastaan aikaisempaa suuremman ilmanpaineen.

7.6 Meri

Suomenlinnan maailmanperintökohteeseen kuuluu laaja merialue. Merialueen kulttuuriperintöön ilmastonmuutoksen vaikutukset näyttäisivät liittyvän vahvasti biologisen aktiivisuuden lisääntymisen kautta. Lämpenevä ilmasto nostaa meriveden lämpötilaa, joka todennäköisesti kiihdyttää meressä tapahtuvaa biologista aktiivisuutta. Tämä johtaa meriveden sammenemiseen, vedenalaisen kulttuuriperinnön hajoamisprosessin nopeutumiseen ja pinnanalaisen tutkimustoiminnan vaikeutumiseen. Kesäkuukausina ennusteiden mukaan lisääntyvä auringon valon määrä vaikuttaa todennäköisesti myös syvemmissä vesikerroksissa lämpötilan ja biologisen aktiivisuuden nousuun. Erityisesti puuhun perustuvat muinaismuistot altistuvat biologisen toiminnan kiihtymiselle mutta myös metalliin perustuvan kulttuuriperinnön hajoamisprosessi kiihtyy meren lämpenemisen takia.

Sademäärien ja rankkasateiden lisääntyminen vuositasolla johtaa sadevesien suurempaan valumaan ja Itämeren ravinnekuormituksen kasvuun. Erityisesti rankkasateet kuormittavat Vantaanjoen valumavesialueen puhdistuskapasiteettia, jolloin huonolaatuiset huvedet tuovat paljon ravinteita Itämereen. Itämeren valuma-alue on lisäksi hyvin laaja ja ravinteiden siirtyminen mereen on sitä kautta tehokkaampaa. Ravinnemäärät nostavat lämpenemisen ohella meressä tapahtuvaa biologista aktiivisuutta ja vähentävät veden happipitoisuutta erityisesti syvemmissä vesikerroksissa. Suomenlinnan merialueella syvyydet ovat suurimmillaan kuitenkin vain noin 20 metriä.

Valuman kasvaminen vaikuttaa myös samalla Itämeren suolapitoisuuteen. Suolapitoisuuden pieneneminen estää kulttuuriperintöä hajottavien, suolaisessa vedessä elävien ja lisääntyvien, vieras- ja tulokaslajien alueelle levittäytymistä. Esimerkiksi hylkypuuta tehokkaasti tuhoava *Teredo Navalis* simpukka pystyy elämään murtovedessä mutta ei pysty lisääntymään siinä. Loppukesällä lisääntyvät pitkät kuumat kaudet pienentävät valumaa kausiluonteisesti, jolloin vesi Suomenlahdella kirkastuu. Lumien vähentyminen ja niiden aikaisempi sulaminen vaikuttavat loppukevällä yhtäläisesti valuman pienentymiseen.

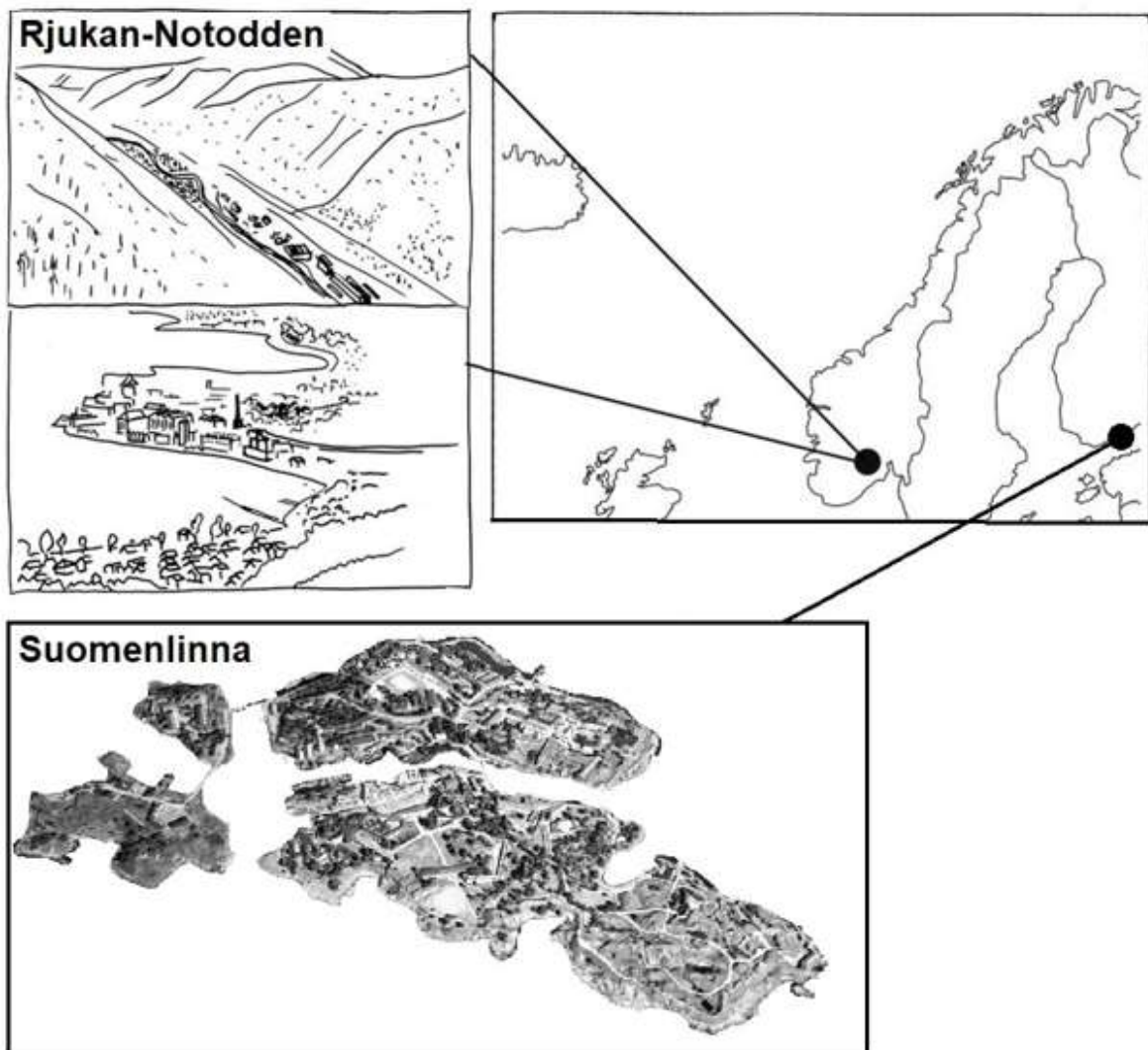
Merijään väheneminen tai puuttuminen vaikuttaa talvisen merimaiseman esteettisyyteen ja vaikeuttaa pinnanalaisen kulttuuriperinnön tutkimista ja dokumentoimista. Jääkannen alla vesi on kirkaampaa ja merijään aikana vesiliikenne on vähäisempää, jolloin sukeltaminen on turvallisempaa. Sukeltamiselle parhaita olosuhteita ovat joko täysin sula tai täysin jäätynyt meri. Auringonvalon ja kuumuuden lisääntyminen kesäkaudella rasittaa tutkimustyöhön käytettävää tutkimuskalustoa.

Laivanhylkyjen sekä rantarakenteiden vaurioitumisriski pienenee jään vähetessä, kun ahtojäitä esiintyy yhä harvemmin. Voimakkaina jäätalvina esiintyvät ahtojäät saattavat tuhota merenpinnan alaista kulttuuriperintöä monien metrien syvyydestä. Sula meri mahdollistaa normaalisti Suomenlinnan telakalla talvisäilössä olevien puurakenteisten laivojen toiminnan myös talvikaudella. Kovien tuulien lisääntyminen vaikeuttaa merellä tehtävää tutkimus- ja kunnossapitotyötä. Työturvallisuusriskit nousevat ja kohteiden saavuttaminen hankaloituu. Tutkimuksiin soveltuvia sääolosuhteita voi esiintyä aikaisempaa harvemmin. Voimakkaat ilmanpaineen vaihtelut voivat voimistaa merivirtoja niin että ne romahduttavat merenpohjassa olevia laivan hylkyjä.

8 Tulosten vertailu Rjukan-Notoddenin ja Bryggenin maailmanperintökoh- teisiin

8.1 Rjukan-Notodden

Vuonna 2019 julkaistussa tutkimuksessa on kehitetty integroitu haavoittuvuusarviointi il-
mastomuutoksen vaikutuksille maailmanperintökohteisiin (Sesanaa, Gagnonb, Bonazzac,
Hughes 2019). Tutkimuksessa oli mukana kolme maailmanperintökohdetta Euroopasta,
joista selvitettiin puolistrukturoiduilla asiantuntijahaastatteluilla ilmastonmuutoksen aiheut-
tamia vaikutuksia maailman kulttuuriperinnölle. Yksi näistä tutkituista kohteista oli Rjukan-
Notoddenin maailmanperintökohde. Kohde koostuu Rjukanin ja Notoddenin kaupungeista,
jotka sijaitsevat Telemarkin läänissä Etelä-Norjassa. (Sesanaa ym. 2019, 211, 217).



Kuvio 37. Rjukan-Notoddenin ja Suomenlinnan maailmanperintökohteiden sijainti (mukai-
len Sesanaa ym. 2019, 214).

Kaupungit perusteettiin 1900-luvun alkupuolella tuottamaan lannoitteita ilmakehän tyydestä alueella tarjolla olevan vesivoiman avulla. Kohde kirjattiin Unescon maailmanperintökohdeeksi vuonna 2015. Molemmat kaupungit ovat rakennettu vesistöjen äärelle, Rjukan järvien Møsvatn ja Tinnsjø välisen Måna joen varrelle ja Notodden Heddalsvatnet järven rannalle. Maanmuodot ovat alueella jyrkkiä sisältäen vuoria, jokia, vesiputouksia ja järviä. Pääosa kohteen aineellisesta kulttuuriperinnöstä koostuu puurakennuksista ja betonirakennuksista sekä teollisuusrakenteista (Sesanaa, Gagnonb, Bonazzac, Hughes 2019, 217). Sekä Rjukan-Notodden, että Suomenlinna sijaitsevat noin 60° leveyspiirillä, ovat vesistöjen äärellä ja sisältävät osittain samankaltaisia rakenteita (Kuvio 37). Tämä tukee alueiden verrattavuutta ilmastomuutoksen näkökulmasta. Täytyy kuitenkin huomioida, että kohteiden historiallinen alkuperä ja tarkoitus poikkeaa toisistaan merkittävästi. Haastatteluissa Rjukan-Notodden kohteelle ilmastomuutoksen aiheuttamia kulttuuriperinnön rappeutumiseen johtavia tekijöitä tunnistettiin alla olevan mukaisesti (Sesanaa, Gagnonb, Bonazzac, Hughes 2019, 218).

- *Biologinen kasvu (esim. sienet)*
- *Hyönteisvahingot*
- *Merenpinnan nousu ja rannikon tulvat*
- *Historiallisten rakennusten vahingoittuminen lisääntyneen kosteuden lisääntymisen takia*
- *Pinnanalaisen kulttuuriperinnön vahingoittuminen lisääntyneen kosteuden takia*
- *Puurakenteiden hajoamisprosessi kiihtyy jäätymis- ja sulamissykliin lisääntymisen takia*
- *Puurakenteiden hajoamisprosessi kiihtyy ilmaston lämpenemisen ja kosteuden lisääntymisen takia*
- *Puupaneelien tummuminen*
- *Turismin lisääntyminen*

Lisäksi haastatteluista nostetuissa lainauksissa korostuivat tulviminen, eroosio ja rankkasateet. Rankkasateet aiheuttavat jyrkkien maanmuotojen alueella maanvyöryjä jatkuvasti. Rankkasateiden aiheuttama tulviminen oli jo muun muassa vuonna 2011 hävittänyt kokonaisen tien ja veden pinta oli noussut rautatieasemalle peittäen myös itse rautatien. Tulvan korjausten aiheuttamat kulut olivat hyvin suuria. Erityisesti rautatie ja liikenneväylät ovat haavoittuvia ilmastomuutokselle. Betonirakenteiden rapautumista voi esiintyä, mikäli niitä ei korjata oikeilla menetelmillä. Lumen määrä tulee vähenemään mutta suuret lumisademäärät voivat olla silti mahdollisia. Lumen vähäinen määrä nähtiin haastatteluissa negatiivisena asiana kulttuuriperinnön säilymisen kannalta. (Sesanaa, Gagnonb, Bonazzac, Hughes 2019, 219.)

Asiantuntijoiden esille nostamat ilmastonmuutoksen seuraukset ja niiden vaikutukset Rjukan-Notodden maailmanperintökohteen kulttuuriperinnölle ovat hyvin saman suuntaisia kuin tämän tutkimuksen Suomenlinnaa koskevissa haastatteluissa. Tutkimusasetelmassa on kuitenkin eroa tutkimusten välillä, sillä Rjukan-Notoddenin tutkimusta käsiteltiin lähtökohtaisesti uhkien kautta. Tässä tutkimuksessa on lähtökohtana ollut neutraalimpi asennoituminen, jolloin itse vaikutuksia on kokonaisuudessaan yritetty hahmottaa ja kartoittaa, huolimatta niiden mahdollisesta asettumisesta arvottamisen asteikon positiivisen, neutraalin ja negatiivisen välillä.

Samankaltaisuuksia tutkimusten tuloksissa on seuraavien ilmastonmuutoksen aiheuttamien vaikutusten lisääntymisessä: biologinen kasvu, hyönteisvahingot, merenpinnan nousu, erilaiset tulvat, rakenteiden ja rakennusten vahingoittuminen lisääntyneen kosteuden takia, pinnanalaisen kulttuuriperinnön vahingoittuminen ja puurakenteiden hajoamisprosessin kiihtyminen lämpenemisen ja kosteuden lisääntymisen takia. Vaikutusmekanismit ovat hyvin yhteneväisiä saman leveyspiirin kohteille, jotka sijaitsevat Pohjoismaissa Atlantilta tulevan läntisen virtauksen reitillä. Myös maailmanperintökohteiden turismin kasvu tulevaisuudessa ja sen aiheuttamat haasteet tulivat esille molemmissa tutkimuksissa.

Tuloksissa on kuitenkin myös eroja. Puurakenteiden hajoamisprosessin kiihtyminen sulamis- ja jäätymissykliden lisääntymisen takia on mainittu Rjukan-Notoddenia koskevissa haastatteluissa. Tämän tutkimuksen haastatteluiden perusteella vaikuttaisi siltä että sulamis- ja jäätymissyklit ovat erittäin rasittavia muuratuille rakenteille. Myös puurakenteet mainittiin, mutta niitä pidettiin yleisesti kestävämpänä rakennemateriaalina laastiin yms. verrattuna. Eräs haastateltava vertasi tilannetta menneisiin vuosisatoihin, siihen miten esimerkiksi puurakennukset ovat Suomessa kautta historian altistuneet kosteille ja jäätävälle olosuhteille. Massiivipuurakenteet ovat kestäneet näitä olosuhteita hyvin, mutta on toki huomioitava että sulamis- ja jäätymissykliden määrä on jo kasvanut viimeisimpiin vuosisatoihin verrattuna ja tulee kasvamaan ennusteiden mukaan jatkossakin. Toinen seikka mikä mainittiin Rjukan-Notodden haastatteluissa, mutta ei noussut esille Suomenlinnaa koskevissa haastatteluissa, oli puupaneelien tummuminen. Puupaneelien tummumisen voidaan nähdä johtuvan puun hajoamisprosessiin, jota lämpimämpi ja kosteampi ilmasto tehostaa. Tämä koskee erityisesti käsittelemättömiä tai jo uusintakäsittelyä tarvitsevia puupintoja.

8.2 Bryggen

Vuonna 2021 pidettiin Oslossa foorumi, joka käsitteli kulttuuriperintöä muuttuvassa ilmastossa. Keskiviikon 29.9 seminaarissa yksi puhujista oli Norjan kalastusmuseon johtaja Gunnar Ellingsen (Ellingsen 2021). Hänen seminaaripuheensa aiheena oli Etelä-Norjassa Bergenissä sijaitsevan Bryggenin maailmanperintökohteen kohtaamat uhat. Bryggen on Bergenin kaupungin vanha rahtisatama, joka toimi yhtenä neljästä Hansaliiton imperiumin ulkomaisista kauppapaikoista 1300 ja 1500-luvuilla (Kuva 9). Se on myös ainut näistä neljästä kauppapaikasta, joka on säilynyt nykypäiviin asti. Alue koostuu puisista makasiineista, joista monia ovat useat tulipalot tuhonneet historian aikana. Kohteen jälleenrakentaminen on toteutettu noudattaen vanhoja menetelmiä. Vuonna 1979 kohde kirjattiin Unescon maailmanperintökohteeksi edustaen muinaista puukaupunkirakenteen perintöä, joka oli aikoinaan yleinen Pohjois-Euroopassa. Nykyään alkuperäisestä satama-alueesta on jäljellä noin 62 rakennusta. (UNESCO.)



Kuva 9. Bryggenin puisia makasiinirakennuksia (Innovation Norway 2022)

Seminaaripuheessa Gunnar nosti puheessaan esille näkemyksensä siitä, että Bryggenin kohtaamat uhat ovat paikallisia ja ihmisen aikaansaamia. Ne ovat olleet olemassa jo kauan ennen nykyistä ilmastonmuutosta, mutta nyt käynnissä oleva ilmastonmuutos tulee pahentamaan uhkia merkittävästi. Bergen on aina ollut alttiina ankaralle, kostealle ja tuuliselle ilmastolle ja onkin tunnettu jo pitkään paikkana, jossa sataa usein. Sään ääri-ilmiöiden, sateiden, tuulisuuden ja tulvien lisääntyminen ilmaston muutoksen takia on kuitenkin selkeä määrällinen muutos jo aikaisemmin vallinneisiin olosuhteisiin. (Ellingsen 2021.)

Nämä tekijät ovat kuitenkin yhteydessä toiseen ongelmaan, joka liittyy pohjaveden tasoon. Nykyinen Bryggenin rakennuskanta on rakennettu paksun jätemaan päälle, joka on kasaantunut hiljalleen alueelle ihmisen toiminnan seurauksena. Vuosisatojen kuluessa alue on rakentunut kohti merta, kun uusia kerroksia jätemaata on kasaantunut ja vanhoja taloja on alueelta palanut. 1300-luvulla rantaviiva sijaitsi 120 metriä sisämaahan päin nykyiseen verrattuna. Nämä jätekerrokset ovat kulttuurikerroksia ja tärkeä osa Bryggeniä, sekä alueen kulttuuriperintöä, sillä ne pitävät sisällään historiallisia jäänteitä ihmisten toiminnasta. (Ellingsen 2021.) Historialliset jäänteet ovat säilyneet hyvin sen takia, että ne ovat olleet kosketuksissa pohjavesialtaan veden kanssa, jonka pinta ylettää suoraan rakennusten alle. Tämä on luonut anaerobiset olosuhteet, jotka ovat säilöneet kulttuurikerrokset läpi vuosisatojen. Alueella suoritettujen arkeologisten kaivausten ja modernin rakennustoiminnan takia pohjavesiallas vuotaa. Tämä altistaa kulttuurikerroksissa olevan orgaanisen materiaalin ilmalle, joka johtaa sen hajoamisprosessin kiihtymiseen. Pohjavesialtaan vuotaminen johtaa myös maakerrosten painumiseen, jolloin rakennukset ovat alkaneet vajota maahan. (Ellingsen 2021.)

Ilmastonmuutos tuo Bryggeniin sään ääri-ilmiöitä ja entisestään lisääntyvää sateisuutta, sekä rankkasateita. Vuodesta 1896 lähtien Norjan sademäärät ovat kasvaneet 20 % ja tulevat edelleen kasvamaan. Sateisuuden lisääntyminen voi olla osittain hyvä asia pohjavesialtaalle ja sitä kautta Bryggenin kulttuuriperinnölle. Sadevesi on yksi tärkeä lähde pohjavesialtaaseen sisään virtaavalle vedelle. Kuitenkin nykyinen katuverkko, talojen kattopinnot ja yleiset sadevesijärjestelmät ovat rakennettu niin, että ne vähentävät veden luonnollista virtausta pohjavesialtaaseen ja sadevesi valuu mereen. Itse merenpinnan on ennustettu nousevan Bergenissä 20–80 cm vuosisadan loppuun mennessä. Tulvat tulevat nousemaan aikaisempaa korkeammalle ja niitä tulee esiintymään useammin. Tämän uhan takia monia rakennuksia joudutaan nostamaan Bryggenissä 1 metrin verran. (Ellingsen 2021.)

Myös Bryggen sijaitsee 60° leveyspiirillä, on meren vaikutuspiirissä ja koostuu historiallisista puurakenteista (Kuvio 38). Vertailua Suomenlinnaan voidaan ilmastonmuutoksen näkökulmasta joltain osin tehdä, vaikka tämänkin kohteen historiallinen alkuperä, sijainti ja tarkoitus poikkeaa merkittävästi Suomenlinnasta. Kohteita selkeästi yhdistäviä asioita ovat täyttömaa, jolle myös osa Suomenlinnasta on rakennettu, puurakenteet ja meren läheisyys. Täyttömaan käyttö kuitenkin eroaa Bryggenin ja Suomenlinnan välillä siltä osin, että Suomenlinna on rakennettu kallioiselle saarelle, jonka päälle on kasattu täyttömaata. Näin ollen siihen ei vaikuta pohjavesiallas samoin kuten Bryggenissä, eikä rakennuksia uhkaa vajoaminen.

Kohteet jakavat ilmastonmuutoksen kautta samankaltaisia uhkia lisääntyvän sateisuuden ja tuulisuuden, nousevan merenpinnan, sekä sään ääri-ilmiöiden kautta. Sateisuus ja lisääntyvä kosteus nopeuttaa puurakenteiden hajoamisprosessia ja altistaa niitä lahovaurioidelle, sekä muille biologisille vauriotekijöille. Koventuvat tuulet lisäävät Bryggenissä kosteuden vaikutusta myös viistosateiden muodossa, sekä aiheuttavat myrskyvahinkoja. Hengittävien maalien käyttö on Bryggenissäkin tärkeää, jotta rakenteiden kuivuminen ei esty. Bryggen sijoittuu tiiviisti rakennetulle kaupunki alueelle, joka vaikuttaa Ellingsenin mainitsemaan hulevesien huonoon imeytymiseen maaperään. Hulevesitulvat korostuvat Bryggenissä sitä ympäröivän kaupunkirakenteen takia Suomenlinnaa enemmän. Suomenlinnassa rakentamaton maisema pystyy käsittelemään hulevedet paremmin, vaikkakin rankkasateiden aikaan valuma mereen on molemmissa kohteissa suurta. Bryggenissä maisemalla ei kaupunkialueelle sijoittumisen ja kohteen selkeästi pienemmän pinta-alan takia ole samanlaista merkitystä kuin Suomenlinnassa.

Merenpinnan nousun on ennustettu olevan suurin piirtein samalla vaihteluvälillä sekä Suomenlinnassa kuin Bryggenissäkin, ollen noin 20 senttimetrin ja metrin välillä. Molemmissa kohteissa pinnan nousu aiheuttaa merkittävän uhan alueen toiminnalle, sen säilymiselle ja kulttuuriperinnön eheydelle. Kumpikin maailmanperintökohde varautuu jo merenpinnan nousuun suunnittelemalla ja toteuttamalla tarvittavia toimenpiteitä. Esimerkkeinä tästä ovat Suomenlinnan polttoainenjakuaseman siirtämisen käynnissä oleva suunnittelu ja Bryggenissä jo toteutus vaiheessa oleva rakennusten nostaminen yhdellä metrillä.



Kuvio 38. Bergenin sijoittuminen Etelä-Norjaan (Britannica).

9 Johtopäätökset ja pohdinta

Ilmastonmuutoksesta ja ihmisen vaikutuksesta siihen vallitsee tiedemaailmassa vahva konsensus. Vähintään 97 % aktiivisesti tieteellisiä julkaisuja tekevistä ilmastotutkijoista on samaa mieltä siitä, että ilmaston lämpeneminen johtuu erittäin todennäköisesti ihmisen toiminnasta (NASA). Aiheesta esiintyy kuitenkin aika ajoin eriäviä mielipiteitä niin politiikassa, kansan keskuudessa kuin tiedemaailmassakin. Ilmastonmuutoksen, tai ihmisen vaikutuksen siihen, kieltäviä tutkijoita tai muita toimijoita on kuitenkin huomattavasti vastapuolta vähemmän. On hyvä huomioida, että vastakkaisten näkemysten esittäminen on pohjimmiltaan tarpeellista ja johtaa usein eteenpäin johtavaan kehitykseen. Näkemysten tulee kuitenkin perustua näyttöön, joka on tuotettu tieteellisesti, systemaattisen metodologian avulla ja täyttää tieteellisen tiedon tunnusmerkit. Tieteellisen tiedon ohittamisessa on kyseessä paljolti psykologiset tekijät, jotka ohjaavat ihmisten mielipiteitä. Tutkimuksen kirjoittajana minulla on oma näkemysni aiheesta, joka nojaa vahvasti luottamukseen nykyaikaista tieteellistä tutkimusta ja sen pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä kohtaan. Parhaan tietämyksemme mukaan tekomme ihmiskuntana menneisyydessä ja nyt vaikuttavat merkittävästi elinolosuhteisiimme kuluvan vuosisadan loppupuolella.

Tulevaisuuden ennustaminen on aina vaikeaa ja sen mitä lopulta tapahtuu paljastaa vain aika. Silti on hyvä olla nykyiseen tietoon pohjautuvia arvioita kehityksen suunnasta. Kehitetyt matemaattiset ilmastomallit pyrkivät tähän laskiessaan hyvin kompleksista yhtälöä ilmaston ja kasvihuonekaasujen määrien välillä. Ilmastomalleista on jatkuvasti pystytty tekemään tarkempia ja tulossa olevien kvanttitekoneiden tarjoama laskentateho tuo lisää mahdollisuuksia ottaa useampia tekijöitä huomioon. Esimerkiksi eräs haastatelluista nosti esille ilmastonmuutoksen vaikutuksen Golf-virtaan ja sen mahdolliset seuraukset. Golf-virran hidastuminen tai pysähtyminen voisi arvioiden mukaan viilentää huomattavasti Pohjois-Euroopan ilmastoa, jolloin lämpeneminen ei olisikaan yhtä voimakasta kuin useissa ennusteissa. Ilmastossa tapahtuneita muutoksia mitataan ja hahmotetaan kuitenkin pitkillä ajanjaksoilla. On silti hyvä muistaa, että Suomen ilmastossa on siis tulevaisuudessakin luontaista vaihtelua vuosien välillä. Esimerkiksi joinakin vuosina voidaan saada paljon sateita tietyllä tarkastelujaksolla ja vastaavasti joinakin vuosina voi olla hyvin kuivaa.

Eräs mielenkiintoinen ajatusmalli on sen asian pohtiminen, että ihminen on vain yksi osa laajaa elonkehää maapallolla. Ihmisellä ei ole muuta erityisasemaa muiden elämänmuotojen rinnalla kuin se minkä ihminen itselleen antaa kulloisessakin kulttuurisidonnaisessa historian hetkessä. Tässä oman lajinsa aseman hahmottamisessa voidaan nähdä kehityskulku, joka on johtanut ihmisen ajattelussa itsensä lähes täydelliseen eristämiseen luonnosta. Tällöin nykyäänkin vallitsevassa ajattelussa hahmotetaan selkeästi erilliset entiteetit

puhuttaessa luonnosta ja ihmisistä. Usein kuultu kysymys, *minkälainen luontosuhde sinulla on*, kuvastaa tätä hyvin sillä suhteeseen tarvitaan aina useampi kuin yksi. Ihmisen kuitenkin ollessa olennainen ja erottamaton osa luontoa, voidaan kysyä, että onko tähän asti tapahtunut kehitys ilmastonmuutoksen suhteen luonnollinen osa evoluutiota, niin ihmisen kuin elämänkin osalta? Johtaako tästä elämäämme uhkaavasta asian tilasta saatu tieto ja oppi lopulta siihen, että meistä ihmisistä tulee lopulta viisaampia, nimemme, Homo sapiens – viisas ihminen, veroisia?

Tämän tutkimuksen tuloksista voidaan nähdä, että ilmastonmuutoksen vaikutuksien ennustetaan olevan Suomenlinnan aineelliselle kulttuuriperinnölle moninaisia ja varsin huomattavia. Siksi kulttuuriperinnön näkökulmaa tulisi nostaa enemmän esille ilmastonmuutoksesta puhuttaessa, kuten haastatteluissa tuli ilmi. On syytä tähdentää, että kuten aina arvioitaessa tulevaisuuden tapahtumia, liittyy tässäkin tutkimuksessa saavutettuihin tuloksiin epävarmuutta. Useat haastatelluista asiantuntijoista nostivat erityisesti keskilämpötilan nousun, kosteuden ja sateisuuden lisääntymisen, sekä merenpinnan nousun kaikkein merkittävämiksi tekijöiksi Suomenlinnan aineelliselle kulttuuriperinnölle. Näiden tekijöiden vaikutuksia arvioitaessa täytyy huomioida myös historiaamme koskevan tiedon menettämisen riski, sillä etenkin vedenalaista kulttuuriperintöä koskevan tiedon kerääminen tulee ilmastonmuutoksen myötä vaikeammaksi ja kalliimmaksi. Valitettavasti myös suurin osa tässä tutkimuksessa arvioiduista vaikutuksista ovat negatiivisia kulttuuriperinnön näkökulmasta. Varsinkin merenpinnan nousu voi muuttaa saarille sijoittuvan Suomenlinnan olemusta niin radikaalisti, että se ei enää vastaa maisemaltaan sitä eheää kokonaisuutta, joka hyväksyttiin maailmanperintökohteeksi vuonna 1991. Mielenkiintoinen kommentti eräältä haastattelijalta valoi kuitenkin uskoa perinteisen rakentamisen ilmastokestävyyteen, sillä hän uskoi nykykaisen rakentamisen kärsivän ilmastonmuutoksesta perinnepuolta enemmän.

Ilmastonmuutoksen tuomat muutokset aiheuttavat suurta painetta alueen kasvilajeille, jotka joutuvat sopeutumaan hyvin erilaisiin ilmasto-olosuhteisiin ja kamppailemaan samanaikaisesti elintilasta todennäköisesti alueelle leviävien useiden tulokaslajien kanssa. Kuten eräs haastatelluista huomautti, kertaa vieras- ja tulokaslajien saapuminen Suomenlinnaan alueen historiaa. Suurin osa Suomenlinnan kasvillisuudesta on tulokas- ja vieraslajeja, jotka ovat tulleet omin avuin tai rakentamisen ja painolastien (painolastikasvit) kautta Suomenlinnaan eri historiallisina aikakausina ja ovat vakiinnuttaneet paikkansa osaksi sitä kokonaisuutta, jonka me tänä päivänä tunnemme. Eri kasvilajit muodostavat oman historiallisen kerrostuneisuuden Suomenlinnan maailmanperintökohteen kokonaisuuteen, aivan kuten muodostavat sen rakennuskanta ja linnoituslaitteetkin. Myös globalisaatiolla on nykyisin suuri osuus vieraslajien leviämisessä ympäri maailman. Merkittävää on se mitkä vieras- ja tulokaslajit muodostuvat haitallisiksi syrjäyttämällä tai tuhoamalla nykyisiä lajeja, ja mitkä

sopeutuvat alueelle vaatien pienempää osaa saatavilla olevista resursseista. Ilmastonmuutoksen useat tekijät yhdessä voivat johtaa kasvilajiston köyhtymiseen ja yksipuolistumiseen, joka puolestaan vaikuttaisi Suomenlinnan linnoituskokonaisuuden eheyteen negatiivisesti. Kasvillisuuden historiallinen kerroksellisuus voisi pelkistyä yleismaisemaksi, jossa pärjäävät tietyt ja samat kasvilajit kuin missä tahansa muuallakin.

Osaltaan muutokseen voidaan reagoida ja sopeutua. Resurssien rajallisuuden takia kaikkia toimia ei kuitenkaan voida tehdä, joten on tutkittava ja pohdittava mihin suojeluresursseja ensisijaisesti kohdistetaan. Haastatteluissa tuli hyvin ilmi Suomenlinnan hoitokunnan ja Museoviraston asiantuntijoiden kokemusperäisesti hankittua tietoa siitä, että toimenpiteitä tehtäessä tulee olla hyvin varovainen. Usein on parempi seurata ja tarkkailla tilannetta kuin ryhtyä nopeasti laajamittaisiin toimiin, varsinkin heikolla tietopohjalla. Eräs haastateltavan kommentti kuvaa asiaa osuvasti: ”tehdään mieluummin liian vähän kuin liikaa”. Aktiivisilla toimenpiteillä voidaan lopulta aiheuttaa vahinkoa, joka ei ollenkaan vastaa alkuperäisiä tarkoituksia. Toki on myös mahdollista, että aina ei ole myöskään edullista antaa tilanteen kehittyä ilman siihen puuttumista. Eräs esimerkki liittyy vieras- ja tulokaslajien saapumiseen Suomenlinnaan. Espanjan siruetanaa alkoi esiintyä Suomenlinnassa 90-luvulla. Nykyään kyseinen etanalaji on niin tehokkaasti levinnyt Suomenlinnaan, että sen aiheuttamia haittoja voidaan yrittää ainoastaan minimoida sekä sopeutua niihin. Usein ei ole mahdollista tietää onko valitut toimenpiteet lopulta oikeita ja kestäviä, mikä tekee tilanteista hyvin haastavia.

Itse tutkimuksen suorittaminen jakautui selvästi viiteen osakokonaisuuteen, jotka olivat taustatiedon kartoitus, tutkimusmetodien valinta, uuden tiedon hankinta, aineiston analyysi ja tuloksien käsittely. Taustatiedon kartoitukseen oli löydettävissä runsaasti materiaalia, jolloin haasteeksi muodostui tutkimuksen kannalta oleellisimman tiedon poiminta. Taustatiedon osalta oli myös tärkeää löytää Suomea koskevaa tietoa, jota ei ollut tarjolla läheskään yhtä runsaasti. Tässä Ilmatieteenlaitoksen tutkimustoiminnan tuottamat raportit olivat erinomainen lähde. Tutkimusmetodien valinnassa oli tärkeää tutustua aihealueen kirjallisuuteen ja valita omaan tutkimukseen parhaiten soveltuvat metodit. Tutkimuksen tarkoituksen ollessa esiselvitystyyppisen raportin laadinta, muodostui tutkimusmetodin valinta varsin helpoksi toimenpiteeksi.

Uuden tiedon hankinnasta muodostui suurin ongelma koko tutkimuksen suorittamisen kannalta. Kuten kappaleessa 5.2 todettiin, oli erityisen hankalaa löytää asiantuntijoita, jotka tunsivat sekä ilmiön että kohteen syvällisesti. Haastattelupyynnöitä jouduttiin lähettämään alkuperäistä suunnitelmaa suuremmalle joukolle asiantuntijoita ja tähän vaiheeseen kului huomattavasti aikaa. Tutkimukseen osallistuvien haastateltavien joukkoa voidaan kuitenkin pitää hyvin edustavana ja tuloksia luotettavina tutkimuksen aihetta käsiteltäessä.

Haastatteluilla saavutetun aineiston analyysivaihe oli tutkimuksen luonteen perusteella suoraviivainen prosessi, joka sisälsi aineiston pelkistämistä ja luokittelemista. Tuloksia käsitellessä oli varsin usein palautettava mieleen, ettei yksittäisille tuloksille tulisi antaa selkeää painoarvoa toisiinsa verrattuna. Näin tutkimuksessa saavutetut tulokset muodostivat mahdollisimman kattavan kuvan kaikista mahdollisista vaikutuksista. Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet täyttyivät kohtuullisen hyvin. Työn haastatteluvaiheen suorittamiseen olisi voinut varata suunniteltua pidemmän ajan, sillä koko prosessi oli hyvin pitkäkestoinen.

Seuraava looginen askel viedä tutkimuksen tuloksia pidemmälle olisi suorittaa tällainen vaikutusarviointi, jossa tuloksia voitaisiin tutkia merkittävyyden ja kiireellisyyden kautta. Vaikutusarvioinnin tarkoituksena olisi luoda hierarkkinen järjestelmä, jossa aineellisen kulttuuriperinnön eri osa-alueet ja niihin ilmastonmuutoksen myötä kohdistuvat vaikutukset olisivat arvotettu toisiinsa nähden merkittävyyden ja kiireellisyyden perusteella. Vaikutusarvioinnin perusteella olisi hyvä muodostaa Suomenlinnan alueen oma ilmastostrategia kulttuuriperinnön turvaamiseksi. Tässä strategiassa olisi päätetty miten kohteiden seuranta suoritetaan, mihin suojelutoimia ensisijaisesti suunnataan, minkälaisia suojelu- ja sopeutustoimia tehdään ja millä aikataululla niitä tehdään. Ilmastostrategia voisi toimia täysin itsenäisenä toimenpiteitä ohjaavana työkaluna tai se voitaisiin kehittää osaksi Suomenlinnan hoito- ja käytösuunnitelmaa. Strategiaa tulisi arvioida ja päivittää tietyin määräajoin vastaamaan tehtyjä havaintoja ja ajantasaista tutkimustietoa. Tästä kehitystyön kokonaisuudesta voisi luoda dokumentoidun prosessin, jota myös muut kulttuuriperintökohteet voisivat hyödyntää ja soveltaa omassa ilmastonmuutosta koskevassa työssään.

Ilmastonmuutos, kaikki siihen vaikuttavat tekijät biodiversiteetistä fossiilisiin polttoaineisiin asti muodostavat hyvin monimutkaisen verkoston, jossa muutokset ja vaikutukset ovat pitkien, toisiinsa vaikuttavien ketjujen seurausta. Ymmärryksemme aika tämän asian suhteen on toden teolla alkanut vasta viime vuosisadan puolivälin paikkeilla. Ihminen ja ihmisen kulttuurihistoria on osa maapallon elämän kudelmia ja sen säilyttäminen on tärkeää meille ihmisille. Säilyttäminen siksi että tietäisimme mistä tulemme, keitä me olemme ja mikä on oma paikkamme tässä valtavan suuressa kosmoksessa. Mikään ei kuitenkaan ole ikuista. Meillä ei ole keinoja pysäyttää entropiaa, aineen epäjärjestyksen jatkuvaa kasvamista universumissa, joka johtaa lopulta kaiken rapautumiseen ja häviämiseen. Kulttuuriperintömme säilyttämiseen tähtäävä työ nyt on kuitenkin lahjamme kaikille meidän jälkeemme tuleville sukupolville.

Lähteet

- Andersson, A. Meier, M. Ripszam, M. Rowe, O. Wikner, J. Haglund, P. Eilola, K. Legrand, C. Figueroa, D. Paczkowska, J. Lindehoff, E. Tysklind, M. Elmgren, R. 2015. Projected future climate change and Baltic Sea ecosystem management. *Ambio* 44, 3, 345–356.
- Beck, H. Zimmermann, N. McVicar, T. Vergopolan, N. Berg, A. Wood, E. 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*. Viitattu 15.3.2021. Saatavissa <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>
- Berghäll, J. Pesu, M. 2008. Ilmastonmuutos ja kulttuuriympäristö - tunnistetut vaikutukset ja haasteet Suomessa. Ympäristöministeriö. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38358/SY44_2008_Ilmastonmuutos_ja_kulttuuriymparisto.pdf?sequence=1
- Britannica. Bergen Norway. The Editors of Encyclopedia Britannica. Viitattu 14.1.2022. Saatavissa <https://www.britannica.com/place/Bergen-Norway>
- Brown, R. Schuler, D. V. Bulygina, O. Derksen, C. Luojus, K. Mudryk, L. Wang, L. Yang, D. 2017. Arctic terrestrial snow cover. Snow, water, ice and permafrost in the Arctic (SWIPA). Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo. 25–64.
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, V. 2020. Rakennussuojelupäätös UUDELY/5025/2017. ELY-Keskus. Viitattu 11.4.2021.
- Ellingsen, G. 2021. Cultural Heritage in a Changing Climate. Oslo Forum 29.9.2021. Saatavissa <https://www.joinlive.no/oslo-forum-2021>
- Erkkilä, A. 2021. Jääolot Pohjanlahdella menneinä ja tulevina lähivuosikymmeninä. Helsingin yliopisto Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Ilmakehätieteitten maisteriohjelma. Viitattu 27.7.2021. Saatavissa https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/330722/Erkkila_Anttoni_gradu_2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Fatorić, S. Seekamp, E. 2017. Are cultural heritage and resources threatened by climate change? A systematic literature review. Springer. Viitattu 25.2.2021. Saatavissa <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-017-1929-9>
- Gray, S. T. Graumlich, L. J. Betancourt, J. L. Pederson, G. T. 2004. A tree-ring based reconstruction of the Atlantic Multidecadal Oscillation since 1567 A.D. *Geophysical Research Letters*, 31, L12205.

Gregow, H. Laaksonen, A. Alper, M. E. 2017. Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010. Scientific reports. 7, 46397.

Grindsted, A. 2015. Projected Change – Sea level. The BACC II Author Team. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer International Publishing AG Switzerland. 253–263.

Groenemeijer, P. Vajda, A. Lehtonen, I. Kämäräinen, M. Venäläinen, A. Gregow, H. Becker, N. Nissen, K. Ulbrich, U. Morales Nápoles, O. Paprotny, D. Púčik, T. 2016. Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe. European Severe Storms Laboratory, 165 s.

Hartmann, D. L. Klein Tank, A. M. G. Rusticucci, M. Alexander, L. V. Brönnimann, S. Charabi, Y. Dentener, F. J. Dlugokencky, E. J. Easterling, D. R. Kaplan, A. Soden, B. J. Thorne, P. W. Wild, M. Zhai, P. M. 2013. Observations: Atmosphere and Surface. Teoksessa: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S. Qin, D. Manning, M. Chen, Z. Marquis, M. Averyt, K. B. Tignor, M. Miller, H. L. (toim.)]. Cambridge University Press, New York, 159–254.

Helen 2020. Kaikki mitä olet halunnut tietää hiilidioksidista – ja vähän enemmänkin. Viitattu 20.3.2021.

Saatavissa

<https://www.helen.fi/asiakaspalvelu/ajankohtaista/arjessa/sahko/hiilidioksidi>

Hirsijärvi, S. Hurme, H. 2000. Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Yliopistopaino Oy.

Ilmasto-opas 2013. Pienhiukkaset vaikuttavat ilmastoon. Ilmatieteenlaitos. Viitattu 16.3.2021. Saatavissa <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/c6869491-f3a5-438e-8a0c-90664db8894c/pienhiukkasten-vaikutus-ilmastoon.html>

Ilmasto-opas 2021a. Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus. Ilmatieteenlaitos. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/420c4ca3-a128-4ae7-882e-3d06e1ea24f5/kasvihuoneilmiö-ja-ilmakehan-koostumus.html>

Ilmasto-opas 2021b. Kasvihuonekaasut lämmittävät. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>

Ilmasto-opas 2021c. Vesihöyry on merkittävin kasvihuonekaasu. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3f4249f8-f39a-4ff6-889a-eea389b69cb7/vesihoyry.html>

Ilmasto-opas 2021d. Säteilypakote kuvaa ilmastojärjestelmän epätasapainoa. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/eb06632f-d946-4d47-8e17-16a7351c43ff/sateilypakote.html>

Ilmasto-opas 2021e. Otsoni kasvihuonekaasuna. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/27bd3840-7f0a-40d0-82b7-aac1231bec4e/otsoni.html>

Ilmasto-opas 2021f. Kasvihuonekaasujen päästö- ja pitoisuusskenaariot. Viitattu 28.3.2021. Saatavissa <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/5101fae4-2702-413c-a3f3-707328fb0d07/kasvihuonekaasujen-paasto--ja-pitoisuusskenaariot.html>

Ilmatieteenlaitos 2021. Ilmakehä-ABC. Viitattu 16.3.2021. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc>

Ilmatieteenlaitos 2021a. Ilmakehän kerrokset. Viitattu 16.3.2021. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-ja-saailmiot>

Ilmatieteenlaitos 2021b. Kasvihuonekaasut. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-tutkimus>

Ilmatieteenlaitos 2021c. Otsonikato. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/otsoni>

Ilmatieteenlaitos 2021d. Helletilastot. Viitattu 21.7.2021. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/helletilastot>

Innovation Norway. 2022. Visit Norway - Behind Bryggen. Saatavissa <https://www.visitnorway.com/places-to-go/fjord-norway/bergen/behind-bryggen/>

IPCC 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report AR5. Viitattu 9.3.2021. Saatavissa https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

IPCC 2018. Special Report: Global Warming of 1.5 °C Glossary. Viitattu 12.3.2021. Saatavissa https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_AnnexI_Glossary.pdf

Johansson, I. 2021. Maisema-asiantuntija. Suomenlinnan hoitokunta. Haastattelu 11.10.2021.

Johansson, I. 2022. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Juha, R. Lähetetty 18.2.2022

Johansson, M. M. Pellikka, H. Kahma, K. K. Ruosteenoja, K. 2014. Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. *Journal of Marine Systems*. 129, 35–46.

Jokinen, P. Vajda, A. Gregow, H. 2015. The benefits of emergency rescue and reanalysis data in decadal storm damage assessment studies. *Advances in Science and Research*. 12, 97–101.

Jylhä, K. 2021. Erikoistutkija. Ilmatieteenlaitos. Haastattelu 11.10.2021.

Jylhä, K. Ruosteenoja, K. Räisänen, J. Fronzek, S. 2012. Miten väistämättömään ilmastomuutokseen voidaan varautua? – yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriö. Viitattu 10.8.2021. Saatavissa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-682-0>

Jylhä, K. Ruosteenoja, K. Räisänen, J. Venäläinen, A. Tuomenvirta, H. Ruokolainen, L. Saku, S. Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Helsinki. Ilmatieteen laitos. Viitattu 19.9.2021. Saatavissa <http://hdl.handle.net/10138/15711>

Kerkkänen, A. 2010. Ilmastomuutoksen hallinnan politiikka. Kansainvälisen ilmastokysymyksen haltuunotto Suomessa. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print.

Kim, S. Sinclair, V. A. Räisänen, J. Ruuhela, R. 2018. Heat waves in Finland: present and projected summertime extreme temperatures and their associated circulation patterns. *International Journal of Climatology*. 38, 1393–1408.

Koivikko, M. 2021. Projektipäällikkö. Museovirasto. Haastattelu 11.10.2021.

Kokkonen, Y. 2020. Ilmastomuutoksen pahinkin skenaario voi olla alakanttiin – Guardian-lehden haastatteleva ilmastotutkija: "Erittäin huolestuttavaa". YLE. Viitattu 28.3.2021. Saatavissa <https://yle.fi/uutiset/3-11404005>

Koljonen, T. Lehtilä, A. Siikavirta, H. Aakkula, J. Haakana, M. Hirvelä, H. Kilpeläinen, H. Kärkkäinen, L. Laitila, J. Lehtonen, H. Maanavilja, L. Ollila, P. Tuomainen, T. Soimakallio, S. Honkatukia, J. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot. VTT Technology. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa <https://cris.vtt.fi/en/publications/hiilineutraali-suomi-2035-skenaariot-ja-vaikutusarviot>

Kotakorpi, K. 2021. Suomen luonto 2100, tutkimusretki tulevaisuuteen. Helsinki: Bazar Kustannus Oy.

Koukkunen, K. 1990. Atomi ja missi: vierassanojen emytologinen sanakirja. Helsinki: WSOY.

Kweku, D. Bismark, O. Maxwell, A. Desmond, K. Danso, K. Oti-Mensah, E. Quachie, A. Adormaa, B. 2018. Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. Journal of Scientific Research & Reports. Viitattu 23.2.2021. Saatavissa <https://www.journalsr.com/index.php/JSRR/article/view/22190>

Laapas, M. Venäläinen, A. 2017. Homogenization and trend analysis of monthly mean and maximum wind speed time series in Finland, 1959–2015. International Journal of Climatology. Volume 37, Issue 14, 4803–4813.

Laki viranomaisten suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arvioinnista 200/2005.

Larjosto, V. Onnela, S. Ronkainen, T. Mattinen-Yuryev, M. 2020. Tampereen kantakaupungin yleiskaava, valtuustokausi 2017–2021 Vaikutusarvio ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ja ilmatoriskien hallinnasta. Sitowise Oy. Viitattu 28.3.2021. Saatavissa https://www.tampere.fi/tiedostot/y/Q1iLCArCt/Tampere_YKA_Ilmastonmuutokseen_sopeutuminen_lopullinen_20201216.pdf

Laurila, T. K. Mäkelä, A. 2019. Thunderstorm observations in Finland – historical observations since 1887, FMI's Climate Bulletin: Research Letters, 1(2), 4. Viitattu 27.8.2021. Saatavissa <http://www.ilmastokatsaus.fi/2019/12/19/thunderstorm-observations-in-finland-historical-observations-since-1887/>

Lehmann, A. Getzlaff, K. Harlaß, J. 2011. Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea area for the period 1958 to 2009. Clim Res, 46, 185–196.

Lehtonen, I. Venäläinen, A. Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteenlaitos. Viitattu 20.7.2021. Saatavissa https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/319348/Lehtonen_Ilmastonmuutoksen_vaiikutukset_raportti_2020_5.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lehtonen, I. Venäläinen, A. Kämäräinen, M. Asikainen, A. Laitila, J. Anttila, P. Peltola, H. 2019. Projected decrease in wintertime bearing capacity on different forest and soil types in Finland under a warming climate. Hydrology and Earth System Sciences, 23, 1611–1631.

Lehtonen, I. Kämäräinen M, Gregow, H. Venäläinen, A. Peltola, H. 2016a. Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change. Natural Hazards and Earth System Sciences. 16, 2259–2271.

Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Peltola, H. & Gregow, H. 2016b. Risk of large-scale fires in boreal forests of Finland under changing climate. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 16, 239–253.

Letola, J. 2020. Tulevaisuuden ilmastonmuutos Suomessa: vaikutukset lämpötilaan, sademäärään ja tulviin vuoteen 2100 mennessä. Maantieteen tutkimusyksikkö Oulun yliopisto. Viitattu 28.3.2021. Saatavissa <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202008222863.pdf>

Lind, T. 2021. Yliarkkitehti. Suomenlinnan hoitokunta. Haastattelu 12.10.2021.

Lindholm, T. 2018. Suot hiilen varastoina – ilmaston hyväksi. *Natura*. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa <http://www.naturalehti.fi/2018/09/14/suot-hiilen-varastoina-ilmaston-hyvaksi/>

Länsimäki, M. Kulttuuria ja sivistystä. Kotimaisten kielten keskus. Viitattu 24.3.2021. Saatavissa https://www.kotus.fi/nyt/kolumnit_artikkelit_ja_esitelmat/kielikuna_%281996_2010%29/kulttuuria_ja_sivistysta

Mannermaa, M. 1999. Tulevaisuuden hallinta – skenaariot strategiatyöskentelyssä. Porvoo: WSOY.

Meier, H.E.M. 2015. Projected change – Marine Physics. The BACC II Author Team. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer International Publishing AG Switzerland. 243–252.

Mikkonen, S. Laine, M. Mäkelä, H. M. Gregow, H. Tuomenvirta, H. Lahtinen, M. Laaksonen, A. 2015. Trends in the average temperature in Finland 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. Viitattu 20.7.2021. Saatavissa <https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-014-0992-2>

Museovirasto 2017. Kulttuuriperintöbarometri 2017. Viitattu 24.2.2021. Saatavissa <https://www.museovirasto.fi/uploads/Arkisto-ja-kokoelmapalvelut/Julkaisut/Kulttuuriperintöbarometri2017.pdf>

Museovirasto. 2017. Esitys Suomenlinnan suojelusta MV/17/05.01.01/2017. Museovirasto. Viitattu 11.4.2021.

NASA. Scientific Consensus: Earth's Climate Is Warming. Viitattu 22.1.2022. Saatavissa <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>

Niiniluoto, I. 1984. Tiede, filosofia ja maailmankatsomus. Helsinki: Otava.

Perkkiö, M. 2020. VS: Suomenlinnan suojelu. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Juha, R. Lähetetty 22.9.2020

- Pilli-Sihvola, K. Haavisto, R. Leijala, U. Luhtala, S. Mäkelä, A. Ruuhela R. Votsis A. 2018. Sään ja ilmastomuutoksen aiheuttamat riskit Helsingissä. Helsingin kaupunki / kaupunkiympäristön toimiala. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-06-18.pdf>
- Puhakka, J. 2021. Rakennuskonservaattori. Museovirasto. Haastattelu 5.11.2021.
- Qingchen, C. Aiding, F. 2018. Scientific basis of climate change and its response. Global Energy Interconnection. Viitattu 12.3.2021. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096511718300628>
- Reinikainen, M. Rytteri, T. Kanerva, T. Kekäläinen, H. Koskela, K. Kunttu, P. Mussaari, M. Numers, M. Rinkineva-Kantola, L. Sievänen, M. Syrjänen, K. 2018. Itämeren rannikko. Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö. Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 63–80.
- Roudier, P. Andersson, J. Donnelly, C. Feyen, L. Greuell, W. Ludwig, F. 2015. Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2 °C global warming. Climatic Change, Springer Verlag, 2016. 135, 2. 341–355.
- Ruosteenoja, K. Jylhä, K. Kämäräinen, M. 2016. Climate Projections for Finland Under the RCP Forcing Scenarios. Geophysical Society of Finland. Viitattu 28.3.2021. Saatavissa [geophysica 2016 51 1-2 017 ruosteenoja.pdf](http://geophysica.2016.51.1-2.017.ruosteenoja.pdf)
- Ruosteenoja, K. Markkanen, T. Venäläinen, A. Räisänen, P. Peltola, H. 2017. Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. Climate Dynamics. 50, 3–4, 1177–1192.
- Ruosteenoja, K. Markkanen, T. Venäläinen, A. Räisänen, P. Peltola, H. 2018. Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. Climate Dynamics. 50, 1177–1192.
- Ruppel, K. Historia. Kotimaisten kielten keskus. Viitattu 24.3.2021. Saatavissa https://www.kotus.fi/nyt/kysymyksiä_ja_vastauksia/sanojen_alkuperasta/historia
- Räisänen, J. 2019. Effect of atmospheric circulation on recent temperature changes in Finland. Climate Dynamics. 53, 5675–5687.
- Räisänen, J., 2016: Twenty-first century changes in snowfall climate in Northern Europe in ENSEMBLES regional climate models. Climate Dynamics. 46, 339–353.

- Salmela, U. Matikka, H. Latvala, P. Kauppi, P. 2015. Kohti kestäväää kulttuuriperintötyötä. Taustaselvitys Faron yleissopimuksen voimaansaattamiseksi Suomessa. Museovirasto. Viitattu 13.4.2021. Saatavissa <https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/kohti-kestavaa-kulttuuriperintotyota.pdf>
- Saukkonen, L. 2020. Sään ääri-ilmiöt ja ilmastonmuutos. Helsinki: Minerva kustannus Oy.
- Sebany, M. 2020. Suomi haluaa Saimaan norppasaaret Unescon maailmanperintöluetteloon. STT. Viitattu 8.4.2021. Saatavissa <https://www.ksml.fi/uutissuomalainen/3158059>
- Seinä, A. Palosuo, E. Grönvall, H. 1997. Merentutkimuslaitoksen jääpalvelu 1919–1994. MERI – Report series of the Finnish institute of marine research No. 32.
- Sesanaa, E. Gagnonb, S.A. Bonazzac, A. Hughes, J.J. 2019. An integrated approach for assessing the vulnerability of World Heritage Sites to climate change impacts. Journal of Cultural Heritage. 2020. Volume 41, 211-224.
- Shaw, T. A. Baldwin, M. Barnes, E. A. Caballero, R. Garfinkel, C. I. Hwang, Y.-T. Li, C. O’Gorman, P. A. Rivière, G. Simpson, I. R. Voigt, A. 2016. Storm track processes and opposing influences of climate change. Nature Geoscience. 9, 656–664.
- Sinclair, V. A. Rantanen, M. Haapanala, P. Räisänen, J. Järvinen, H. 2020. The characteristics and structure of extra-tropical cyclones in a warmer climate. Weather and Climate Dynamics. 1, 1–25.
- Smith, L. 2006. Uses of Heritage. London: Routledge.
- Suomenlinna 2022. Moninainen kävijäjoukko. Viitattu 6.2.2022. Saatavissa <https://www.suomenlinna.fi/moninainen-joukko-kavijoita/>
- Suomenlinna 2021. Venäläinen Viapori -verkkonäyttely. Vallit osana linnoitusmaisemaa. Viitattu 14.4.2021. Saatavissa <http://suomenlinna.fi/krepostsveaborg/vallit-osana-linnoitusmaisemaa.html>
- Suomenlinnan hoitokunta 2019. Suomenlinnan hoito- ja käyttösuunnitelma 2020–2024. Suomenlinnan hoitokunta. Viitattu 8.4.2021. Saatavissa <https://www.slhk.fi/suomenlinnan-hoito-ja-kayttosuunnitelma/>

Suomenlinnan hoitokunta 2019. Viaporin tykit ja tunnelit -kierros internetsivu. Saatavissa <https://www.suomenlinna.fi/tapahtumat/viaporintykit/>

Suomenlinnan hoitokunta 2021. Viraston internetsivu. Viitattu 8.4.2021. Saatavissa <https://www.slhk.fi/virasto/>

Suomen ympäristökeskus SYKE 2021. Fluoratut kasvihuonekaasut. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen_seuranta_Suomessa/Fluoratut_kasvihuonekaasut

Tallinen, P. 2019. Ilmastonmuutoksen vaikutus Suomen luontoon esimerkkiympäristöissä. Maailman Luonnon Säätiö (WWF) Suomen Rahasto sr. Viitattu 22.7.2021. Saatavissa https://wwf.fi/app/uploads/e/e/8/nemcd2ojf64v9qtqt7rii/ilmastonmuutos_ja_suomen_luonto.pdf

Tekniikan maailma 2020. Ilmakehän CO₂-pitoisuus nousi uuteen ennätykseen koronarajoituksista huolimatta – ”Ihmiset saattavat yllättyä”. Viitattu 20.3.2021. Saatavissa <https://tekniikanmaailma.fi/ilmakehan-co2-pitoisuus-nousi-uuteen-ennatykseen-koronarajoituksista-huolimatta-ihmiset-saattavat-yllattya/>

Tillaeus, J. 2021. Ennätyksellisen pitkä helleputki päättyi Kouvolassa – lämpötila nousi hellelukemiin 31 peräkkäisenä päivänä. YLE. Viitattu 21.7.2021. Saatavissa <https://yle.fi/uutiset/3-12026926>

Tuomenvirta, H. Haavisto, R. Hildén, M. Lanki, T. Luhtala, S. Meriläinen, P. Mäkinen, K. Parjanne, A. Peltonen-Sainio, P. Pilli-Sihvola, K. Pöyry, J. Sorvali, J. Veijalainen, N. 2018. Sää- ja ilmatoriskit Suomessa - Kansallinen arvio. Valtioneuvoston kanslia. Viitattu 25.2.2021. Saatavissa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-601-0>

Tuomi, J. Sarajärvi, A. 2013. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Tuomi-Nikula, O. Haanpää, R. Kivilaakso, A. 2013. Mitä on kulttuuriperintö. Helsinki: Suomalaisen Kirjallisuuden Seura.

UNESCO. World Heritage List. Bryggen. Viitattu 12.1.2022. Saatavissa <https://whc.unesco.org/en/list/59/>

UNESCO World Heritage Centre 2007. World Heritage reports 22 - Climate Change and World Heritage. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa <https://whc.unesco.org/document/8874>

Update 2020. the Royal Society and the US National Academy of Sciences. Viitattu 23.2.2021. Saatavissa https://royalsociety.org/-/media/Royal_Society_Content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf

Valtioneuvosto 2016. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa <https://tem.fi/documents/1410877/3570111/Kansallinen+energia-+ja+ilmastostrategia+vuoteen+2030+24+11+2016+lopull.pdf/a07ba219-f4ef-47f7-ba39-70c9261d2a63/Kansallinen+energia-+ja+ilmastostrategia+vuoteen+2030+24+11+2016+lopull.pdf>

Valtioneuvoston asetus aineettoman kulttuuriperinnön suojelemisesta tehdyn yleissopimuksen voimaansaattamisesta 47/2013.

Veijola, A. Mikkonen, S. 2016. Mitä historia on: aloittavien historianopiskelijoiden historiakäsitykset. Kasvatus ja aika, 10/2016, 6–21. Saatavilla http://www.kasvatus-ja-aika.fi/dokumentit/a1_2010160850.pdf

UPM Verlan tehdasmuseo 2019. Hoito- ja käyttösuunnitelma. Viitattu 8.4.2021. Saatavissa <https://www.verla.fi/files/download/HKS2019-Verla.pdf>

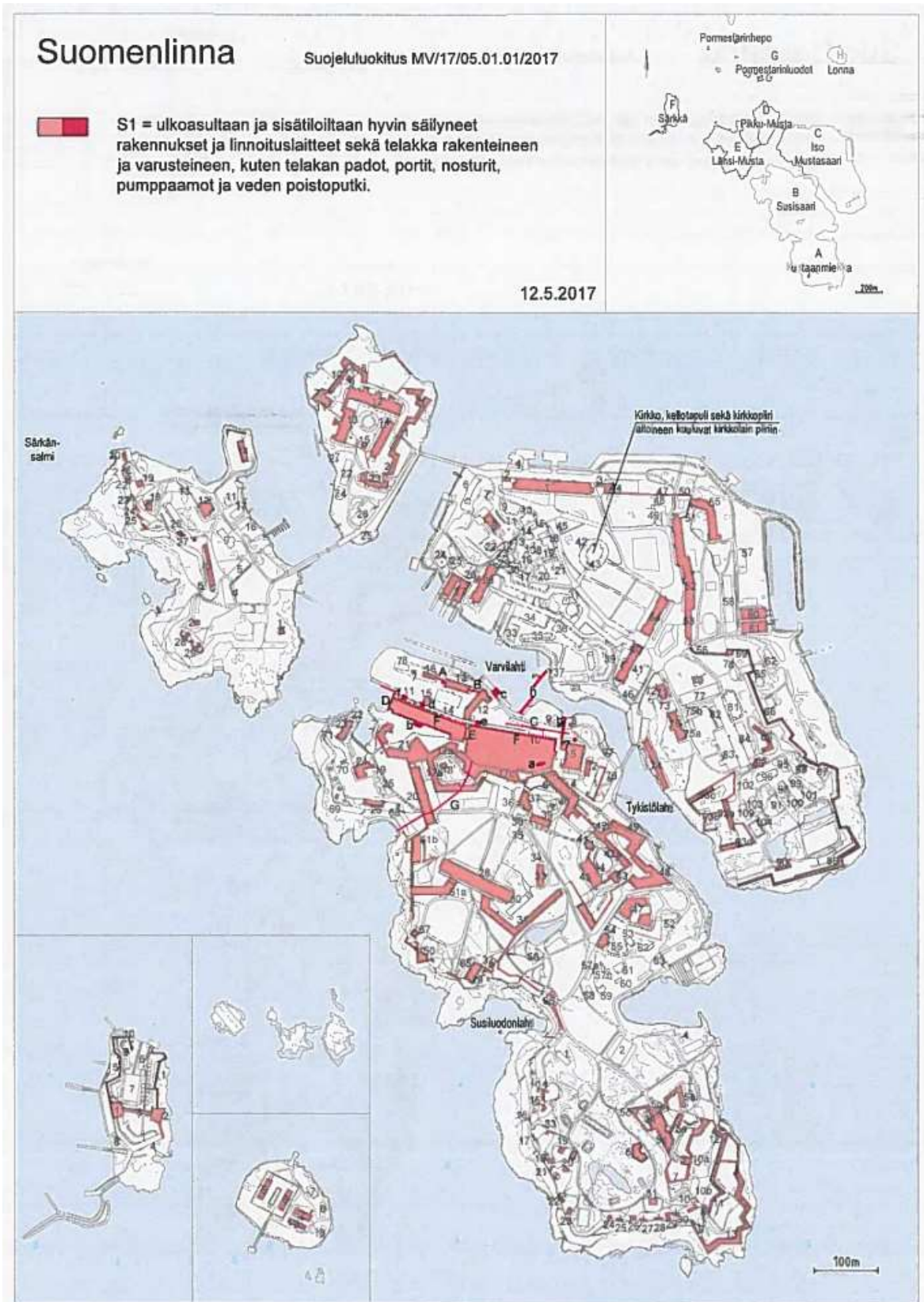
Veijalainen, N. Ruosteenoja, K. Uusikivi, J. Mäkelä, A. Vehviläinen, B. 2018. Ilmastonmuutos ja virtaamien muuttuminen Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla. Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja 27/2018.

Venäläinen, A. Ruosteenoja, K. Lehtonen, I. 2019. Projections of future climate for Europe, Uruguay and China with implications on forestry. Ilmatieteen laitos, Raportteja 3/2019.

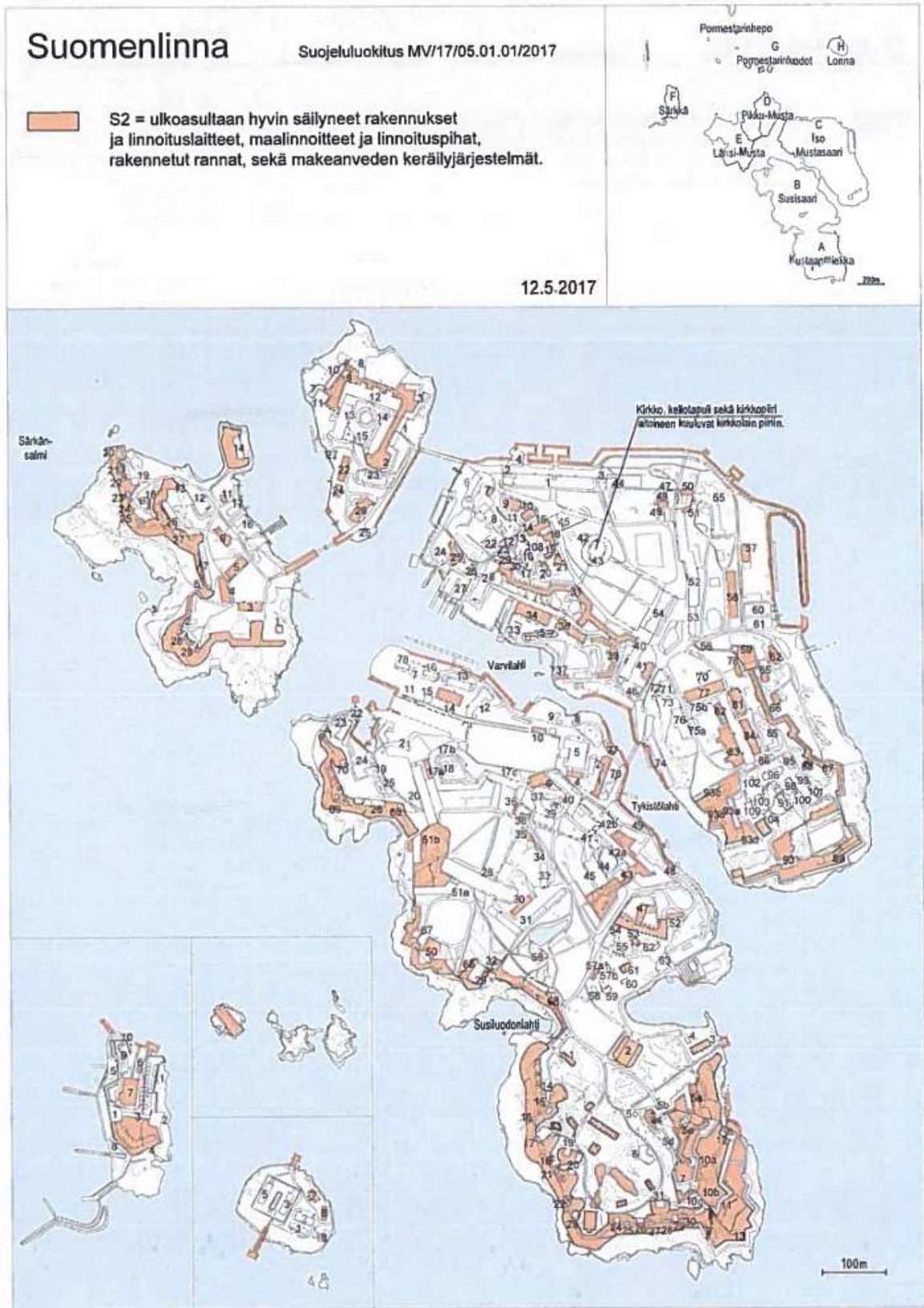
Virta, A. 2011. Harrastuksesta ammatiksi: historian opettajaksi opiskelevien suhde historiaan. Kasvatus & Aika 5/2011, 68-81.

Wolff, E. Fung, I. Hoskins, B. Mitchell, J. Palmer, T. Santer, B. Shepherd, J. Shine, K. Solomon, S. Trenberth, K. Walsh, J. Wuebbles, D. 2020. Climate Change Evidence & Causes Update 2020. the Royal Society and the US National Academy of Sciences. Viitattu 23.2.2021. Saatavissa https://royalsociety.org/-/media/Royal_Society_Content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf

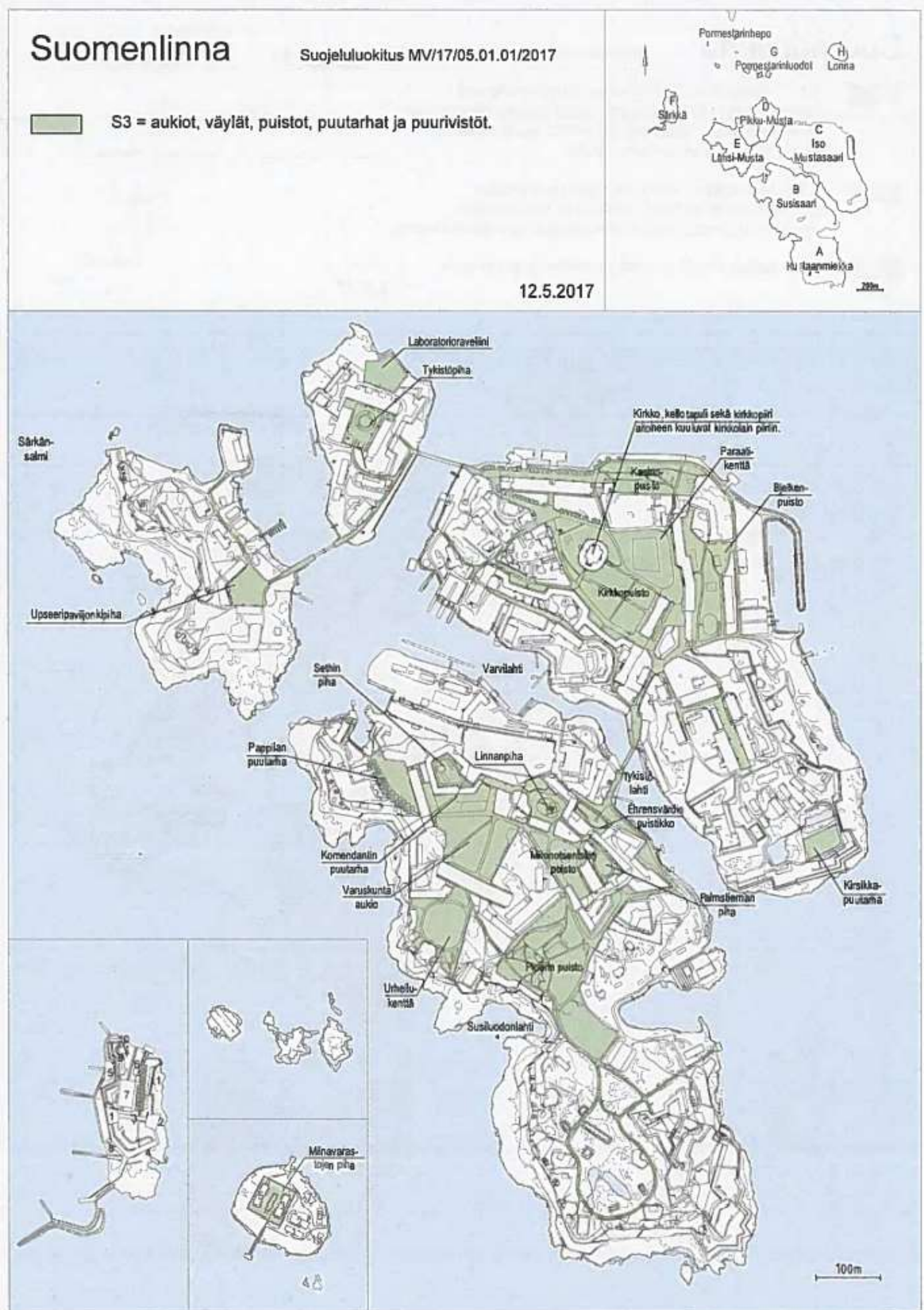
Liite 1. S1 suojelualueet



Liite 2. S2 suojelualueet



Liite 3. S3 suojelualueet



Liite 4. Rakennus- ja kohdeluettelo

12.05.2017 Suojeltavaksi esitetyt rakennukset, innoituslaitteet jne.										
1	2	3	4	5	6	9	10	14B		
Saari	Aakes	Rakno	Rakennuksen nimi	Historiallinen nimi	Rak.vuodet	PK_v	Hallinta	Suojelukokous		
	Lyhenneet:									
	S = Suomenlinnan hoitokunta									
	SE = Senaatikiinteistöt									
	SRK = Helsingin Seurakuntayhtymä									
	K = Helsingin kaupunki									
	Y = Yksityinen omistaja									
A	A 005a	A 5a	Bastioni Carpelan	Bastioni Carpelan	1749-1756	2003	S			
A	A 005b	A 5b	Bastioni Gyllenberg	Bastioni Gyllenberg	1748-1750	1980-I	S			
A	A 005c	A 5c	Bastioni Gyllenberg	Bastioni Gyllenberg	1749-1756	2006	S			
A	A 005d	A 5d	Gyllenbergin ja Zandenin kurtlinimuri	Gyllenbergin ja Zandenin kurtlinimuri	1740-1750	2009	S			
A	A 005e	A 5e	Von Spängenin ulkoverustus	Von Spängenin ulkoverustus	1753		S			
A	A 006	A 6	Kaponieeri Coyet	Kaponieeri Coyet	1750-1752	1958, 2012	S			
A	A 007	A 7	Bast. Zander-Lantingshausen	Bastionit Zander ja Lantingshausen	1749-1754	2016	S			
A	A 008	A 8	Traverssi Bethun	Traverssi Bethun	1753		S			
A	A 011	A 11	Tenajli Kyhlenbeck	Tenajli Kyhlenbeck	1749-1753	1997	S			
A	A 012	A 12	Kuninkaanportti	Kuninkaanportti	1754, 1776	1998	S			
A	A 013	A 13	Kustaanmiekan rantavarustus	Kustaanmiekan rantavarustus	1750-1753	1998	S			
A	A 014	A14-15	Patteri 1	Patteri 1	1855-1880	1985	S			
A	A 016	A16-22	Patteri 2	Patteri 2	1855-1880	1982	S			
A	A 023	A23-24	Patteri 3	Patteri 3	1855-1880	1982	S			
A	A 025	A25-30	Patteri 4	Patteri 4	1855-1880	1982	S			
A	A 031	A 31	Ruutikellari	Ruutikellari	1876		S			
A	A 033	A 33	Ruutikellari	Ruutikellari	1855-1880		S			
B			Telakka		1750-I, 1917		S			
		A-C	nk. Thunbergin pato		1750-I		S			
		D,E	Portit		2001, 2004		S			
		F	Patoseinä		1750-I, 1917		S			
		G	Poistoputki		1761		S			
		a	Telakan portti		1931		S			
		b	Telakan portti		1862		S			
		c	Nosturi		1952		S			

B	B 044-	B44-45	Alehteetalo	Pieni Palmsterina	1752,1906	1982	S	37
B	B 046	B 46	Bastioni Kunnia	Bastioni Kunnia	1753-1756	1973, 2013	S	37
B	B 047	B 47	Ravelilini Hyvä omatunto	Ravelilini Hyvä omatunto	1755,1774	1993, 2007	S	37
B	B 048	B 48	Bastioni Hyve	Bastioni Hyve	1754-1769	1984, 2010	S	37
B	B 049	B 49	Bastioni Wrede	Bastioni Wrede	1750-1753	1975, 2004	S	37
B	B 050	B 50	Tenajli Casimir Wrede	Tenajli Casimir Wrede	1753-1756	2011	S	37
B	B 051a	B 51a	Polhemin kasematti	Polhemin kasematti	1755,1773	1985	S	37
B	B 051b	B 51b	Bastioni Polhem	Bastioni Polhem	1753-1754	2005	S	37
B	B 054	B 54	Kantinauhatalo	Kantinauhatalo	1915	1982	S	37
B	B 066	B 66	Tykistö patterin ammusvarasto	Tykistö patterin ammusvarasto	1867		S	37
B	B 067	B 67	Casimir Wreden p. ammusvar.	Casimir Wreden p. ammusvar.	1867		S	37
B	B 068	B 68	Insinööripatterin ammusvar. 1	Insinööripatterin ammusvar. 1	1869		S	37
B	B 069	B 69	Insinööripatterin ammusvar. 2	Insinööripatterin ammusvar. 2	1869		S	37
B	B 070	B 70	Insinööripatterin ammusvar. 3	Insinööripatterin ammusvar. 3	1869		S	37
C	C 001	C 1	Rantakasarmi	Rantakasarmi	1868-1870	1999	S	37
C	C 002	C 2	Talli	Talli	1868-1870	1999	S	37
C	C 003	C 3	Varasto	Varasto	1868-1870		S	37
C	C 008	C 8	Yläkerho Club 20	Suomenlinnan pääll.yhd.kerho	1892	2007	S	37
C	C 027	C 27	Veneväljet	Veneväljet	1916	1980, 2007	S	37
C	C 028	C 28	Pirunkirkko	Kruunulinnan läntinen siipirak	1776-1786	1996, 2002	S	37
C	C 040	C 40	Kruunulinnan itäinen siipirak.	Kruunulinnan itäinen siipirak.	1776-1784	1993, 2012	S	37
C	C 042	C 42	Kellotapuli	Kellotapuli	1870?	1998	SRK	suojeltu kirkkolain
C	C 043	C 43	Kirkko	Aleksanteri Nevskin katedraali	1850-1854	1998	SRK	suojeltu kirkkolain
C	C 044	C 44	Kaponeeri 1	Kaponeeri 1	1790-	2000	S	37
C	C 047	C 47	Pohjoinen polygoni	Pohjoinen polygoni	1870-I		S	37
C	C 052	C 52	Bast. Bielke ja Kurttiitalo	Bast. Bielke ja Kurttiitalo	1762,1775	1998	S	37
C	C 053	C 53	Upseerikerho	Upseerikerho	1876	1999	S	37
C	C 054	C 54	Noakin arkki	Itäinen siipirakennus	1764-1780	1986, 2010	S	37
C	C 055	C 55	Koulu	Koulu	1959		K	37
C	C 056	C 56	Taitettu kurtliini	Taitettu kurtliini	1762-	1979, 1985, 2016	S	37
C	C 059	C 59	Bastioni Horn	Bastioni Horn	1775	1973, 2016	S	37
C	C 060	C 60	Veneväjä	Veneväjä	1846-1851	1978	S	37
C	C 061	C 61	Veneväjä	Veneväjä	1846-1851	1978	S	37
C	C 070	C 70	Jääkellari	Jääkellari	1898	2011	S	37
C	C 071	C 71	Lennättimen hoitajan talo	Lennättimen hoitajan talo	1910	1995	S	37
C	C 074	C 74	Inventaariokamari	Inventaariokamari	1776-1783	1998	S	37
C	C 085	C 85	Vaja	Vaja	1890		S	37

C	C 086	C 86	Työsiirtolain toimisto	Soilaskelaitio	1841	1971, 2012	S	S1
C	C 089	C 89	Ison Mustasaaren Rantavarustus	Kaakkoinen bast.-linja ja rantavar.	1753-	1970-l	S	S1
C	C 090	C 90	Kiväärigalleria	Kiväärigalleria	1753	1996	S	S1
C	C 092	C 92	Pommisuoja	Pommisuoja	1940-l		S	S1
C	C 093a	C 93a	Iso kurtiini	Iso kurtiini	1774-1777	1984	S	S1
C	C 093c	C 93c	Bastioni Sparre	Bastioni Sparre	1774-1777	1984	S	S1
C	C 093d	C 93d	Bastioni Sprengtporten	Bastioni Sprengtporten	1774-1777	1984	S	S1
D	D 001	D 1	Kurtiini Stromberg-Scheffer	Kurtiini Stromberg-Scheffer	1751-1773	1978	S	S1
D	D 002	D 2	Bastioni Scheffer	Bastioni Scheffer	1751-1753	1995	S	S1
D	D 003	D 3	Bastioni Stromberg	Bastioni Stromberg	1751-1753	1994	S	S1
D	D 007	D 7	Bastioni Stiermroos	Bastioni Stiermroos	1753-1770	1960-l,	S	S1
D	D 008	D 8	Bastioni Löwenhielm	Bastioni Löwenhielm	1753-1774	1993	S	S1
D	D 009	D 9	Muonavarasto	Ruumishuone	1844-		SE	S1
D	D 010	D 10	Kurt. Löwenhielm-Stiermroos	Kurt. Löwenhielm-Stiermroos	1764-1774		SE	S1
D	D 011	D 11	Toimisto	Apteekki	1751-1753	2000	SE	S1
D	D 012	D 12	Merisotakoulun opetustilat ja ruokala	Sairaala	1821-1830	2015	SE	S1
D	D 013	D 13	Merisotakoulu	Kasarmi	1844-	2010	SE	S1
D	D 014	D 14	Merisotakoulun asuntola	Kasarmi	1754-1756	1978, 2010	SE	S1
D	D 015	D 15	Planetaario	Vartiolupa	1822	1981	SE	S1
D	D 023	D 23	Merisotakoulun esikunta	Kulkutaisairaala	1915	2010	SE	S1
E	E 001	E 1	Ammusvarasto / patteri 4	Ammusvarasto / patteri 4	1869		S	S1
E	E 002	E 2	Ammusvarasto / patteri 3	Ammusvarasto / patteri 3	1869		S	S1
E	E 006	E 6	Ammusvarasto / patteri 3	Ammusvarasto / patteri 3	1868		S	S1
E	E 007	E 7	Kurtiini Tessin-Gyllenberg	Kurtiini Tessin-Gyllenberg	1749-1751	1999	S	S1
E	E 012	E 12	Leipomo	Leipomo	1761-1762	1951, 2003	S	S1
E	E 014	E 14	Miinaluokka	Kaponieeri Löwen	1825-1826	2003	S	S1
E	E 018	E 18	Varasto	Varasto (patteri 1)	1867		S	S1
E	E 019	E 19	Varasto	Varasto	1867		S	S1
E	E 020	E 20-25	Patteri 1	Patteri 1	1863-1879		S	S1
E	E 026	E 26-27	Patteri 2	Patteri 2	1879		S	S1
E	E 028	E 28-29	Patteri 3	Patteri 3	1863-1897		S	S1
E	E 030	E 30	Patteri 4	Patteri 4	1856-1891		S	S1
F	F 001	F 1	Kaponieeri v. Törne	Kaponieeri v. Törne	1750-1752	2000-l	S	S1
F	F 002	F 2	Kaponieeri Gerdes	Kaponieeri Gerdes	1750-1752	1992	S	S1
F	F 003	F 3	Kurtiini v. Törne-Gerdes	Kurtiini v. Törne-Gerdes	1751-1754	1923	S	S1
F	F 004	F 4	Bastioni Liewen	Bastioni Liewen	1749-1750	2000-l	S	S1
F	F 005	F 5	Läntin. ja pohj. rantavarustus	Läntin. ja pohj. rantavarustus	1751-1757	1980-l	S	S1

C	C 016	C 16	Asuinrakennus (Nygren)	Sinebrychoffin leivintupa	1868	1990-l	Y	S2
C	C 018	C 18	Asuinrakennus	Nedonoskovin talo	1868	1980-l, 2000-l	Y	S2
C	C 019	C 19	Vajat	Vajat	1800-l		Y	S2
C	C 020	C 20	Asuinrakennus (Lahinen)	Galtschkinin piharakennus	1800-l	1999	Y	S2
C	C 021	C 21	Asuinrakennus (Lahinen)	Galtschkinin talo	1909	1970-l	Y	S2
C	C 025	C 25	Merivartioasema	Jalkaväkikomppanian keittiö	1892	1980	S	S2
C	C 026	C 26	Vaja	Jauhovarasto	1885	1980	S	S2
C	C 031	C 31	Kruunul. Ehrensvärd "Käärmetalo"	Kruunul. Ehrensvärdin puolustusrint	1775-1788	1991	S	S2
C	C 034	C 34	Puutyöverstas	Miinapaja	1915 n	1996	S	S2
C	C 035	C 35	Paja ja laastiasema	Konepajan varasto	1915 n		S	S2
C	C 036	C 36	Metalliverstas	Insinöörijoukkojen konepaja	1915 n	1999	S	S2
C	C 037	C 37	Varasto	Varasto	1915 n	1999	S	S2
C	C 039	C 39	Rakennustoimisto	Nostotelakan konehuone	1915 n	2003	S	S2
C	C 041a	C 41	Tullin venetukikohta	Lennätinasema	1904	1985	S	S2
C	C 049	C 49	Asuinrakennus	Soitilaskeittiö	1842	1995	S	S2
C	C 050	C 50	Autotalli	Haikovaja	1900-l	1994	S	S2
C	C 051	C 51	Autotalli	Haikovaja	1900-l	1994	S	S2
C	C 057	C 57	Rantatalo	Asuinrakennus	1912	1993	S	S2
C	C 058	C 58	Aliupseeritalo	Aliupseeritalo	1876-1878	2004	S	S2
C	C 062	C 62	Kiinteistöhuolto	Pesula	1913, 1985	1985, 2016	S	S2
C	C 065	C 65	Asuinrakennus (Hetemäki)	Oleninin talo	1911	1991	Y	S2
C	C 066	C 66	Asuinrakennus, Lelumuseo	Vasiljevin talo	1911	1988	Y	S2
C	C 072	C 72	Jääkellari	Jääkellari	1910	1995	S	S2
C	C 077	C 77	Sotamuseo	Maneesi	1880-1881	1990	S	S2
C	C 078	C 78	Paloasema	Talli	1915	1974, 2000-l	S	S2
C	C 081	C 81	Liikuntatalo	Tykistön maneesi	1903-1904	2002	S	S2
C	C 082	C 82	Asuinrakennus	Soitilaskeittiö	1842	1978	S	S2
C	C 083	C 83	Vaasan kasarmi	Tykistökasarmi	1849-1853	1974	S	S2
C	C 084	C 84	Nousevan auringon talo	Kasarmi	1840	1978	S	S2
C	C 088	C 88	Asuinrakennus (Kairamo)	Sokolovin talo	1913	2000-l	Y	S2
C	C 091	C 91	Tykistön laboratorio	Tykistön laboratorio	1835	2015	S	S2
D	D 022	D 22	Kuntosali ja verstas	Sauna	1844-		SE	S2
D	D 024	D 24	Asuinrakennus (Bruun)	Verstas	1844	1970	S	S2
D	D 025	D 25	Muuntamo	Muuntamo	1929		S	S2
D	D 026	D 26	Saunatalo	Saunatalo	1902-1905	1993	SE	S2
E	E 003	E 3	Kasarmi	Kasarmi	1756-1761	2000	S	S2
E	E 004	E 4	Upseeripaviljonki	Upseeripaviljonki	1759-1761	2002	S	S2

E	E 005	E 5	Kasarmi	Kasarmi	1756-1761	1998	S	S2
E	E 009	E 9	Nailensauna	Lämpökeskus ja sauna	1949	1995	S	S2
E	E 011	E 11	Asuinrakennus	Sotaolkeuden talo	1881	2004	S	S2
F	F 006	F 6	Telakkamestarintalo	Telakkamestarintalo	1881	1980-l	S	S2
F	F 007	F 7	Venevaja	Venevaja	1928		Y	S2
H	H 006	H 6	Vartiolupa	Vartiolupa	1860,1902	2017	S	S2
H	H 007	H 7	Asuinrakennus	Minilaboratorio	1890	2005	S	S2
			Maalinnotteet, linnoituspihat					S2
			Makeanveden keräilyjärjestelmät					S2
			Rakennetut rannat					S2
			Aukiot					
B			Varuskunta-aukio					
B			B. Palmstieman piha					
B			Varuskunta-aukio					
B			Linnanpiha					
B			B. Sethin piha					
C			Paraatikenkä					
D			Tykistöpiha					
E			Upseeripaviljonkipiha					
H			Miinarastojen piha					
			Puistot ja puutarhat					
B			Piperin puisto					
B			Mironovskin puisto					
B			Ehrensvärdin puistokko					
B			Komendantin puutarha					
B			Pappilan puutarha					
C			Kirsikkapuutarha					
C			Kirkkopiha					
C			Kirkkopuisto					Isuoletu kirkkolu
C			Bjelken puisto					
C			Kasinopuisto					
D			Laboratorioravelliini					

Liite 5. Haastattelun teemarunko

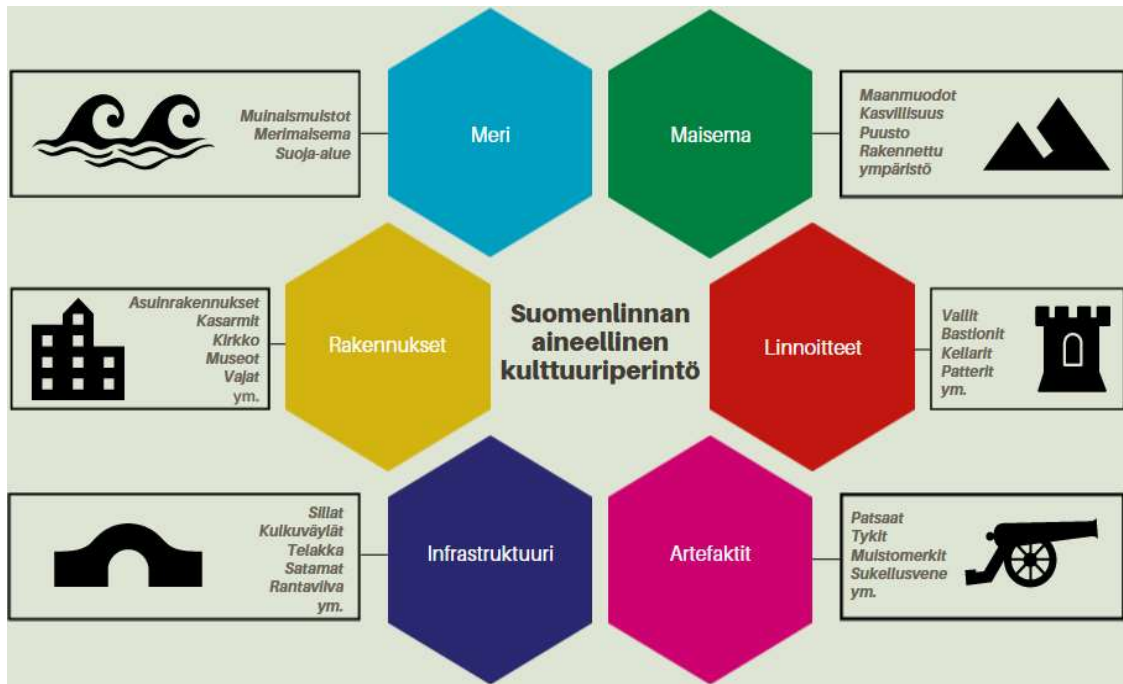
Haastattelun teemat:

Kategoria	Muuttuja	joulu- helmi	maalis- touko	kesä- elo	syys- marras	Vuosi	Kommentti
Lämpötila	Keskilämpötila	++	++	+	++	++	Nousu on pienintä kesällä
	Roudan määrä	--	--	0	0	--	Turvepohjaisilla mailla routaa ei enää esiinny juuri ollenkaan RCP8.5-skenaariossa
	Jään määrä	--	--	0	0	--	Jäätymis- ja sulamisvaiheiden vaihtelu lisääntyy talven aikana
	Merenpinnan taso	++	++	++	++	++	Keskimääräistä vuodenaikaiskiertoa ei ole huomioitu
Sateisuus	Sademäärä	+	+	/	+	+	Talvella sadepäivien määrä lisääntyy ja erityisesti kesällä rankkasateet voimistuvat
	Lumen määrä	--	--	0	0	--	Vesisateiden määrä lisääntyy erityisesti talven alku- ja loppupäässä
Kuivuus	Auringonsäteily	-	/	+	/	+/	Vaikutus kesäaikaan on suurempi kuin talvella jolloin päivä on lyhyempi
	Maaperän kosteus	-/	--	/	-/	-	Kasvanut sademäärä ei riitä täysin kompensoimaan lämpötilan noususta johtuvaa maaperän kuivumista
Ilmapaine	Tuulisuus	-/	+/	+/	+/	+/	Yksittäiset ilmastomallit ennustavat suurempia tuulisuuden muutoksia mutta keskiarvoisesti muutokset ovat pieniä
	Myrskyt ja rajuilmat	/	/	(+)	(+)	(+)	Myrskyille ja rajuilmoille suotuisat olosuhteet tulevat lisääntymään mutta tilastoissa ei näy vielä selkeää muutosta

Ilmastonmuutoksen aiheuttamat arvioidut ilmasto-olosuhteiden muutokset Etelä-Suomen alueella 2000-luvun ensimmäisen vuosisadan loppupuolella (mukaillen Jylhä, Ruosteenoja, Räisänen, Venäläinen, Tuomenvirta, Ruokolainen, Saku, Seitola 2009, 63). Yläkategoria ilmoittaa ilmastosuureen. Muuttuja kertoo ilmasto-olosuhteisiin vaikuttavan tekijän. Merkkien selitykset ovat:

- ++ *Lisääntyy/nousee merkittävästi*
- + *Lisääntyy/nousee.*
- / *Säilyy suunnilleen ennallaan*
- - *Vähenee/laskee*
- -- *Vähenee/laskee merkittävästi*
- 0 *Ei osata sanoa tai merkityksetön*
- () *Muutos hyvin epävarma*

Liite 6. Suomenlinnan aineellisen kulttuuriperinnön jaottelu



Liite 7. Haastatteluiden purettu ja pelkistetty tutkimusmateriaali

Ilmastonmuutonmuutoksen arvioidut vaikutukset Suomenlinnan aineelliseen kulttuuriperintöön 2000-luvun ensimmäisen vuosisadan loppupuolella. Vaikutusarviointi perustuu asiantuntijoilta haastatteluissa kerättyyn materiaaliin, jota on analysoitu haastattelun runkona toimineen taulukon mukaisesti (LIITE 5). (Johansson 2021; Jylhä 2021; Koivikko 2021; Lind 2021; Puhakka 2021.) Kategoria ilmoittaa ilmastosuureen. Muuttuja kertoo ilmastosuureen ilmasto-olosuhteisiin vaikuttavan tekijän ja muutos sen keskimääräisen muutoksen vuositasolla verrattuna 2000-luvun alkuun.

KATEGORIA: LÄMPÖTILA

MUUTTUJA: Keskilämpötila

MUUTOS: [+ +] Lisääntyy/nousee merkittävästi

VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

- Toistuvat jäätymis- ja sulamissyklit rasittavat puustoa ja kasvillisuutta sekä rapauttavat rakenteita ja kuluttavat infrastruktuuria. Vaikutus vähenee vuosisadan loppua kohden, jos keskilämpötila nousee merkittävästi.
- Muuratut rakenteet, laasti ja tiilipinnat mukaan lukien, kuluvat huomattavasti sateiden, pakkasten ja lämpenevän ilmaston yhteisvaikutuksesta.
- Kasvillisuus altistuu talvella voimakkaammin ympäristön olosuhteille ja sään ääri-ilmiöille.
- Kasvitautilien ja tuholaisien elinmahdollisuudet paranevat ja niitä todennäköisesti havaitaan enemmän.
- Tulokas- ja vieraslajien levittäytyminen alueelle mahdollistuu. Lajeja voi levitä alueelle kulkeutumalla (vieraslajit) tai luontaisesti (tulokaslajit). Osa vieraslajeista aiheuttaa haittaa paikalliselle ekosysteemille.
- Vieras/tulokaslajien torjunnasta aiheutuu ylimäärisiä kustannuksia.
- Vieras/tulokaslajien torjunnasta voi aiheutua myös ympäristökuormitusta, joka voi vaikuttaa negatiivisesti alueen ekosysteemiin.
- Metalliin perustuvan kulttuuriperinnön hajoamisprosessi, korroosio, kiihtyy.
- Puuvartisen kasvillisuuden tuhoriski kasvaa kelirikon takia. Kelirikkoaika pitenee selkeiden vuodenaikojen vaihteluiden vähentyessä.
- Kasvillisuuden luontainen vuodenvaihtelu häiriintyy, joka saattaa johtaa kasvukauden varhaistumiseen. Paleltumisvaurioita voi esiintyä.
- Biologinen aktiivisuus meressä lisääntyy. Puusta tehtyjen muinaismuistojen hajoamisprosessi nopeutuu. Merivesi samenee, jolloin pinnanalaisten tutkimustointa vaikeutuu.
- Alueiden käytön mahdollisuudet lisääntyvät talviaikana, joka johtaa kelirikon aikana eroosioon lisääntymiseen ja kasvillisuuden vähenemiseen. Eroosion ja rankkasateiden yhteisvaikutuksesta maanvyörymiä esiintyy enemmän, etenkin rinne-alueilla.
- Lämpenevän ilmaston myötä vierailijoiden määrä kasvaa kesäkautena, joka vaikuttaa alueen kulumiseen ja ympäristön kuormitukseen negatiivisesti.

KATEGORIA: LÄMPÖTILA

MUUTTUJA: Roudan määrä

MUUTOS: [- -] Vähenee/laskee merkittävästi

VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

- Kelirikkoajan pidentyessä maaperän kulutuskestävyys vähenee, joka johtaa maiseman hoitotarpeen ja korjausvelan huomattavaan kasvuun.
- Rakennusten perustuksiin kohdistuva rasitus ja riski perustuksien liikkumiselle pienenee.
- Vesiputkien jäätyminen ja sitä kautta riski putkirikoille pienenee.
- Roudattomuus altistaa puita kaatumiselle. Myös huoltotoimintaan käytettävän raskaan kaluston liikenne kohdistaa painetta väylien lähellä olevien puiden juuristolle.
- Kunnossapitokaluston käyttö tietyillä alueilla voi estyä liian pehmeän maaperän takia.
- Maaperä tiivistyy ja kasvitautien esiintyvyys nousee.
- Sulasta maaperästä saattaa valua ravinteita mereen, mikä heikentää kasvien elinmahdollisuuksia.
- Roudattoman maan päälle satanut iso lumikuorma ylläpitää korkeaa lämpötilaa maaperässä. Tällöin mikrobien hajotusaktiivisuus ja ravinteiden mineralisoituminen kasvaa. Puiden versokasvu lisääntyy.
- Linnoituslaitteet altistuvat voimakkaammin kosteudelle. Routimaton maa ei ohjaa vettä linnoituslaitteista pois päin. Perinteiset vedeneristykset (esim. tuohi ja savi) eivät enää toimi kunnolla linnoituslaitteiden maavalleilla. Perinteisiä korjausmenetelmiä ei voi enää käyttää kaikissa vedeneristyksissä.

KATEGORIA: LÄMPÖTILA

MUUTTUJA: Jään määrä

MUUTOS: [- -] Vähenee/laskee merkittävästi

VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

- Ranta-alueiden eroosio ja rantarakenteiden rasitus kasvaa ulapalle asti sulana pysyvän meren aallokon seurauksena.
- Jäiden ja ahtojäiden rantarakenteille ja laivanhylyille aiheuttamien vaurioiden riski pienenee merkittävästi.
- Sulana pysyvistä merestä nousee enemmän kulttuuriperintöön negatiivisesti vaikuttavaa kosteutta ja suolaa.
- Merijään puuttuminen vaikeuttaa pinnanalaisen kulttuuriperinnön tutkimista ja dokumentoimista.
- Suomenlinnan puurakenteisten laivojen toiminta-aika pitenee ja telakalla oloaika lyhenee.
- Veneilykausi pidentyy. Omilla veneillä saapuvien vierailijoiden määrä voi lisääntyä sesonkiaikojen ulkopuolella. Kelirikon aikana maiseman kuluminen voi lisääntyä.
- Roudan määrä vähenee, sillä roudan muodostumiseen vaikuttaa vahvasti ilman ja meriveden lämpötilan kohoaminen. Ennen kuin meri pääsee jäätymään, rannikko ja saaret pysyvät syksyllä pidempään lämpimänä sisämaahan verrattuna.
- Liukastumisriski nousee kasvaneen kosteuden ja satunnaisten pakkasjaksojen seurauksena. Riski kohdistuu aluetta ylläpitävään henkilökuntaan sekä vierailijoihin. Liukkauden torjunnan tarve kokonaisuudessaan vähenee.

KATEGORIA: LÄMPÖTILA

MUUTTUJA: Merenpinnan taso

MUUTOS: [+ +] Lisääntyy/nousee merkittävästi

VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

- Riski meriveden pääsulle rakenteisiin kasvaa. Erityisen haavoittuva alue on kuiva-telakka, jossa merivesi voi päästä täyttömaan läpi tai portin yli telakan altaisiin.
- Telakan patorakenteen puuosien säilyvyys pysyy hyvänä. Nouseva merenpinta pitää rakenteet maan kohoamisesta huolimatta pinnan alla, jossa puuaines säilyy paremmin.
- Kantava maakerros, jonka päälle tiet ovat rakennettu, rapautuu ja tuhoutuu meren pinnan nousun johdosta. Tieyhteyksiä voi katketa.
- Suomenlinnan varikko, huoltorannan alue ja rantaväylät ovat haavoittuvia merenpinnan nousulle. Riski saaren huolto- ja ylläpitotoiminnan häiriintymiselle kasvaa.
- Toimintoja ja rakennuksia joudutaan siirtämään riskialueilta suojaan. Suojarakenteita joudutaan rakentamaan. Varautumiseen täytyy budjetoida merkittävästi varoja.
- Lauttaliikenne voi häiriintyä tai estyä.
- Nouseva merenpinta jättää osan Suomenlinnasta veden alle. Tämä vaikuttaa negatiivisesti maailmanperintökohteen eheyteen.

KATEGORIA: SATEISUUS**MUUTTUJA: Sademäärä****MUUTOS: [+] Lisääntyy/nousee****VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN**

- Sadeveden valuma Itämereen lisääntyy, joka johtaa ravinmäärien kasvuun, meriveden samenumiseen ja biologisen aktiivisuuden lisääntymiseen. Vedenalaisen kulttuuriperinnön hajoamisprosessi nopeutuu.
- Sadeveden valuman lisäys vaikuttaa Itämeren suolapitoisuuteen pienentäen sitä. Tämä estää suolaisessa vedessä elävien, vedenalaista kulttuuriperintöä hajottavien, lajien levittäytymistä alueelle.
- Rankkasateet huuhtovat maakerrosta pois erityisesti eroosiosta kärsineiltä alueilta. Maisema kuluu, kivetykset siirtyvät ja hiekka tukkii vedenohjousjärjestelmiä. Käytävä- ja tieverkosto vaurioituu. Maaperä ja kasvillisuus ei ehdi hyödyntämään lyhyen ajan suurta sademäärää, ja hulevedet muodostavat riskin tulvimiselle maanalaisiin rakenteisiin. Korjaustyöt aiheuttavat kustannuksia.
- Runsas sateisuus lämpenevän ilmaston kanssa luo olosuhteet kasvillisuuden nopeammalle kasvulle. Maisemanhoidon toimenpiteiden määrä ja kustannukset nousevat.
- Rakennusten kosteusvauriot lisääntyvät. Sadevesien ohjaus on osittain puutteellista rakennusajankohdasta ja kulttuurikerrosten kasautumisesta johtuen (nostaa maanpintaa). Rakenteet eivät pääse kuivumaan sademäärien lisääntymisen myötä. Sulana pysyvä meri ja lisääntynyt pilvisuus nostaa ilmankosteuden määrää merkittävästi.
- Lisääntynyt kosteus voi aiheuttaa rakenteissa rapautumisvaurioita erilaisten korjausmateriaalikerrosten välillä. Muurattujen rakenteiden korjaukseen eri vuosikymmeninä käytetyt materiaalit eroavat toisistaan.
- Linnoituksissa ja asuinrakennuksissa käytetyn perinteisen laastin rapautuminen nopeutuu. Laasti pysyy pitkiä aikoja kosteana ja mahdolliset pakkasjaksot aiheuttavat sille suuren rasituksen. Autenttisuuden ja alkuperäisyyden vaatimuksista voidaan joutua joustamaan, sillä esimerkiksi etelän ja lännen puoleisissa seinissä ei välttämättä voida käyttää perinteisiä laasteja kasvaneen kosteuden ja sateisuuden takia.
- Puurakenteet eivät välttämättä pääse kuivumaan kunnolla ennen kesäkautta. Perinteisten maalien käytön merkitys kasvaa, sillä ne ovat hengittäviä. Kaikkia rakenteita, jotka estävät esim. puuseinän kuivumista on vältettävä.
- Lisääntyvä kosteus altistaa puurakenteet lahottajille ja biologisille vauriotekijöille. Lahoava puu toimii elinympäristönä hyönteisille, jotka selviävät leudontuvista talvista paremmin.

KATEGORIA: SATEISUUS

MUUTTUJA: Lumen määrä

MUUTOS: [- -] Vähenee/laskee merkittävästi

VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

- Lumikuormat puustolle ja katoille pienenevät. Harvinaiset lumitykki-ilmiöt, joissa lumikertymä on suuri hyvin lyhyellä aikavälillä, ovat edelleen mahdollisia ja saattavat aiheuttaa puuston vaurioitumista.
- Maaperän ja kasvillisuuden luontainen suoja puuttuu lumettomana aikana. Maisemaan ja reitistöön kohdistuva rasitus ja sitä kautta eroosio kasvaa, sillä lumen vähyyttä altistaa alueet suuremmalle käytölle.
- Kulttuuriperintökohteen hoitaminen helpottuu osittain. Aurauksen tarve vähenee, mikä tuo säästöjä kunnossapidosta. Vihertyöntekijät voivat aloittaa työnsä aikaisemmin.
- Maiseman esteettisyys kärsii. Talveen sekä joulun liittyvät tapahtumat voivat vähentyä ja kävijöiden määrä laskea. Rahalliset menetykset voivat olla suuria. Maiseman kuluminen vähenee, jos kävijöiden määrä laskee.

KATEGORIA: KUIVUUS**MUUTTUJA:** Auringon säteily**MUUTOS:** [+/] Lisääntyy/nousee tai säilyy suunnilleen ennallaan**VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN**

- Auringonvalo ja kuumuus rasittaa tutkimus- ja kunnossapitokalustoa, josta aiheutuu kustannuksia.
- Lämpimät jaksot pidentyvät ja lisääntyvät. Vierailijoiden määrä kasvaa, sillä helle ei ole yhtä tukalaa merellä olevalla saarella kuin mantereella. Alueen kuluminen ja ympäristön rasitus kasvaa.
- Lisääntynyt kuivuus voi nopeuttaa muinaismuistojen hajoamisprosessia. Materiaalit mukautuvat muutokseen luovuttamalla itseensä varastoitunutta kosteutta pois ja alkavat muun muassa halkeilla.
- Meriveden lämpötila nousee ja biologinen aktiivisuus lisääntyy myös syvemmissä vesikerroksissa. Muinaismuistojen hajoamisprosessi nopeutuu.
- Auringon UV-säteilyn määrä kasvaa. Puusta tehtyyn materiaaliin se vaikuttaa niin, että puun solukko lähtee suojautumaan ja siihen tulee mikrotason halkeilua. Lopulta puu kuivuu niin paljon, että se säilytyy vähitellen.
- Kuivuus ja auringon paiste ovat edullisia olosuhteita kattojen ja puurakenteiden korjauksille, sekä maalaustöille. Se edistää myös muurien ja linnoituslaitteiden säilymistä. Muurauksessa ja muurinkorjauksissa kuivuus aiheuttaa ongelmia esimerkiksi laastin liian nopean kuivumisen suhteen.
- Palovaara ja maaston syttymisherkkyys lisääntyy.

KATEGORIA: KUIVUUS

MUUTTUJA: Maaperän kosteus

MUUTOS: [-] Vähenee/laskee

VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

- Kasvillisuuden lajisto voi muuttua. Kuivuutta paremmin kestävät lajit valtaavat alaa muilta lajeilta.
- Keväällä aikaisemmin sulava lumi aiheuttaa maaperän kosteuden vähenemistä myöhemmin keväällä ja alkukesästä. Se voi johtaa muun muassa hiekkateiden kuivumiseen ja nurmialueiden kellastumiseen.
- Kastelun ja hoidon tarve maiseman osalta lisääntyy. Hoidosta aiheutuu kustannuksia.
- Kuivuus altistaa vallit ja ampumatasanteet eroosiolle. Kuivuuden johdosta maamassaa sitova kasvillisuus kuolee ja se tekee alueista kulutusalttiita. Ongelma korostuu alueilla, joissa kävellään ja jotka ovat ranta-alueiden lähellä missä tuulee paljon. Kuivaa kautta seuraavat rankkasateet huuhtovat alueilta maa-ainesta pois.
- Syys- ja talvikaudella märkänä pysyneet rakenteet voivat kuivua kesäkaudella paremmin ja esimerkiksi rakennusten alapohjissa kosteuden määrä voi vähentyä.
- Kuivan kauden vähäinen sademäärä pienentää Vantaanjoesta Itämereen tulevaan valumaa jonka seurauksena merivesi kirkastuu ja pinnanalainen tutkimustyö on helpompaa.

KATEGORIA: ILMANPAINNE

MUUTTUJA: Tuulisuus

MUUTOS: [+/-] Lisäänty/nousee tai säilyy suunnilleen ennallaan

VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

- Voimistuva tuulisuus lisää eroosiota ranta-alueilla ja linnoituslaitteiden maapeitteissä siirtäen niistä hiekkaa ja maa-ainesta pois kuivan kauden aikana.
- Aallokon voimistuminen aiheuttaa kasvavaa rantaviivan eroosiota. Maa- ja kiviainesta huuhtoutuu mereen ja ranta-alueen kasvillisuus köyhtyy.
- Tuulisuuden voimistuminen vaikeuttaa tutkimus- ja kunnossapitotöitä ja lisää työturvallisuusriskejä. Erityisesti merellä tehtävää tutkimustyö vaikeutuu.
- Viistosateiden esiintyminen useammin. Ne kastelevat rakenteita tehokkaasti ja aiheuttavat niille rasitusta. Erityisesti etelän, lounaan ja lännen vastaiset julkisivut altistuvat voimakkaasti viistosateille. Kosteudesta aiheutuvat ongelmat rakenteille tulevat lisääntymään.

KATEGORIA: ILMANPAINNE

MUUTTUJA: Myrskyt ja rajuilmat

MUUTOS: [(+)] Lisäänty/nousee mutta muutos hyvin epävarma

VAIKUTUS TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

- Voimakas eroosio rantakohteissa lisäänty myrskytuulien ja aallokon seurauksena.
- Voimistuvat myrskyt aiheuttavat korkean merenpinnan ilmiöitä. Ne lisäävät tulvariskiä merkittävästi kuivatelakalla sekä muilla korkealle merenpinnalle alttiilla alueilla.
- Voimakkaat ilmanpaineen vaihtelut voivat aiheuttaa merivirtausten voimistumista. Virtaukset rasittavat rantarakenteita ja vaikuttavat muun muassa hylkyihin romahduttamalla niitä.
- Voimistuvat myrskyt haittaavat kunnossapitotöitä sekä nostavat ylläpito- ja korjauskustannuksia. Katto- ja peltivaurioita sekä muita vahinkoja esiintyy useammin. Lauttaliikenne voi häiriintyä tai estyä.
- Vanhat ja arvokkaat puut altistuvat vaurioille voimistuvien myrskyjen ja roudattoisuuden seurauksena. Puutuhoja saattaa esiintyä myös terveiksi luokiteltujen puuden joukossa. Kaatuvat puut aiheuttavat vahinkoriskin myös niiden läheisyydessä oleville rakennuksille ja henkilöille, sekä tukkivat kulkuväyliä.