

Janne Heikkinen

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS ABIOOTTISIIN METSÄTUHOIHIN SUOMESSA

Opinnäytetyö

Luonnonvara-alan ammattikorkeakoulututkinto

Metsätalouden koulutus

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Metsätalousinsinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Janne Heikkinen
Työn nimi	Ilmastonmuutoksen vaikutus abioottisiin metsätuhoihin Suomessa
Toimeksiantaja	
Vuosi	2021
Sivut	68 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Työn ohjaaja(t)	Kirsi Itkonen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmastonmuutoksen vaikutusta abioottisiin metsätuhoihin Suomessa. Kyseessä oli teoreettinen työ eli aiheeseen perehdyttiin kirjallisuuden ja omien pohdintojen kautta. Opinnäytetyössä tarkasteltiin ilmasto- ja säätekijöiden aiheuttamia merkittävimpiä abioottisia metsätuhoja, joita ovat myrsky- ja tuulituhot, metsäpalot ja lumituhot.

Ilmastonmuutoksella on vaikutuksia kaikkialle maapallolla ja vaikutukset tulevat arvioiden mukaan voimistumaan tulevina vuosikymmeninä. Lämpenevän ilmaston takia sääolosuhteet tulevat arvaamattomiksi. Äärimmäiset sääolot kuten rajut helleaallot, kuivuus ja rankkasateet yleistyvät. Ilmastonmuutoksen myötä Suomen ilmasto tulee lämpenemään ja muuttumaan sateisemmaksi.

Tuuli on jatkossakin tärkein abioottinen tuhonaiheuttaja. Tuulisuuteen ei ole odotettavissa suuria muutoksia, mutta talvimyrskyt tulevat olemaan tuhoisampia talvien leudontumisen ja roudan vähenemisen takia. Tuulituhoriski tulee kasvamaan voimakkaammin Etelä-Suomessa verrattuna Pohjois-Suomeen.

Ilmastonmuutoksen myötä lämpimämmät ja kuivemmat olosuhteet aiheuttavat lisää metsäpaloja. Lisääntyvä höyrystyminen kasvattaa metsäpalojen mahdollisuuksia ja metsäpalohälytyspäivien arvioidaan lisääntyvän. Alueellisesti metsäpalovaaran ennustetaan kasvavan melko samanlaisesti koko maassa.

Ilmaston lämmetessä lumen ja jään määrä vähenee, lumisen vuodenaika lyhenee sekä entistä isompi osa talven sateista tulee vetenä ja pienempi osa lumena. Runsaslumisia talvia tapahtuu jatkossakin, mutta ajan myötä ne tulevat vähentymään. Suurimmat lumikuormat ja niiden aiheuttamien lumituhojen todennäköisyys tulee kasvamaan huomattavasti Itä- ja Pohjois-Suomessa vuosisadan loppuun mennessä. Etelä- ja Länsi-Suomessa lumituhoriski pienenee.

Metsänhoidolla pystytään parantamaan metsien kykyä sopeutua ilmastonmuutokseen. Puuston kasvua ja terveyttä edistävä aktiivinen metsänhoito, sekapuustoisuus sekä monimuotoisuuden ylläpitäminen vahvistavat metsien kykyä kestää tuhoja.

Asiasanat: Ilmastonmuutos, metsätuhot, metsänhoito

Degree	Bachelor of Natural Resources
Author (authors)	Janne Heikkinen
Thesis title	Impact of climate change on abiotic forest damages in Finland
Commissioned by	
Time	2021
Pages	68 pages, 0 pages of appendices
Supervisor	Kirsi Itkonen

ABSTACT

The objective of the thesis was to determine the impact of climate change on abiotic forest damages in Finland. This was a theoretical work, that is, the topic was studied through literature and independent reflection. The thesis examined the most significant abiotic forest damages caused by climate and weather factors, including storm and wind damages, forest fires, and snow damages.

The study showed that climate change would affect all regions in the world and the effects will increase in the coming decades, according to estimates. Weather conditions become unpredictable because of the warming climate. Extreme weather conditions such as drastic heatwaves, droughts and heavy rains become more common. With climate change, Finland's climate is going to become warmer and rainier.

Wind will continue to be the main abiotic damage agent. No major changes to the wind are expected, but winter storms are going to be more destructive due to winter mildness and reduced frozen ground. The risk of wind damage is going to increase more strongly in southern Finland compared with northern Finland.

With climate change, warmer and drier conditions will cause more forest fires. Increased vaporization increases the changes of forest fires and forest fire alert days are estimated to increase. Regionally, forest fire risk is predicted to increase rather similarly across the country.

As the climate warms up, the amount of snow and ice declines, the snowy season become shorter, and yet the smaller proportion of winter rains comes as snow and a bigger proportion comes as rain. Abundant snowy winters will continue to happen, but over time they will become less frequent. The highest snow loads and the probability of snow damage caused by them will increase significantly in eastern and northern Finland by the end of the century. In southern and western Finland, the risk of snow damage decreases.

Forest management is a way to improve the ability of forests to adapt to climate change. Active forest management that promotes tree growth and health, along with mixed tree stands and the maintenance of diversity are important features in strengthening the ability of forests to withstand and prevent damages.

Keywords: Climate change, forest damages, forest management

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ILMASTONMUUTOS.....	7
2.1	Mitä ilmastonmuutos tarkoittaa?	7
2.2	Kasvihuoneilmiö ja ilmastonmuutoksen syyt.....	7
2.3	Ilmastonmuutoksen seuraukset	10
2.4	Ilmastonmuutoksen vaikutukset Euroopassa.....	13
2.5	Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa.....	16
3	ABIOOTTISET METSÄTUHOT	20
3.1	Mitä abioottiset metsätuhot ovat?	20
3.2	Esimerkkejä tapahtuneista abioottisista metsätuhoista Suomessa.....	22
3.2.1	Vuoden 2010 rajuilmat	22
3.2.2	Vuoden 2018 lumituhot.....	23
4	ILMASTONMUUTOS JA ABIOOTTISET METSÄTUHOT SUOMESSA.....	25
4.1	Tuuli- ja myrskytuhot.....	25
4.1.1	Yleiskuvaus.....	25
4.1.2	Ilmastonmuutoksen vaikutus tuuli- ja myrskytuhoihin	31
4.2	Metsäpalot.....	34
4.2.1	Yleiskuvaus.....	34
4.2.2	Ilmastonmuutoksen vaikutus metsäpaloihin.....	41
4.3	Lumituhot.....	44
4.3.1	Yleiskuvaus.....	44
4.3.2	Ilmastonmuutoksen vaikutus lumituhoihin.....	48
5	METSÄNHOIDOLLA VARAUTUMINEN ILMASTONMUUTOKSEN AIHEUTTAMIIN TUHOIHIN	50
5.1	Metsänhoidon ja metsäsuunnittelun merkitys	50
5.2	Metsänviljely ja puulajin valinta.....	52
5.3	Monimuotoisuuden edistäminen	53

6	POHDINTA.....	54
6.1	Opinnäytetyön luotettavuus	54
6.2	Ilmastonmuutos lisää tuuli- ja myrskytuhoja	55
6.3	Sateisuuden muutokset ristiriitaisia.....	56
6.4	Parhaat keinot varautua ilmastonmuutokseen	57
	LÄHTEET.....	60

1 JOHDANTO

Ilmaston lämpeneminen on yksiselitteistä. Ilmasto on muuttunut aina, mutta nykyinen muutos on ollut poikkeuksellisen nopeaa. 1900-luvun puolivälin jälkeisenä aikana on pystytty havaitsemaan muutoksia kaikissa maapallon ilmastojärjestelmän osissa. Ilmakehä ja meret ovat lämmenneet, jään ja lumen määrä on vähentynyt ja kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet ilmakehässä. (Stocker & Qin 2013.)

Ihmisten vaikutus ilmastojärjestelmään on selvää. Viimeaikaiset ihmisten aiheuttamat kasvihuonepäästöt ovat olleet suurimpia historian aikana. Muutokset ilmastossa on vaikuttanut laajasti ihmisten ja luonnon järjestelmiin. (Pachauri & Meyer 2015.)

Metsissä esiintyviä tuhoja aiheuttavat bioottiset ja abioottiset tekijät. Bioottiset metsätuhot tarkoittavat elävien eliöiden aiheuttamia tuhoja ja abioottiset metsätuhot elottomien tekijöiden aiheuttamia tuhoja. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin ainoastaan abioottisia metsätuhoja. Tuuli- ja lumituhot ovat merkittävimpiä abioottisia tuhoja Suomessa. (Lehtonen 2019.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmastonmuutoksen vaikutusta abioottisiin metsätuhoihin Suomessa. Ilmastonmuutos on ajankohtainen ja mielenkiintoinen aihe. Abioottiset metsätuhot ovat myös kiinnostava aihe, joten työssä selvitettiin, onko ilmastonmuutoksella vaikutuksia kyseisiin tuhoihin. Kyseessä oli teoreettinen työ eli työhön perehdyttiin kirjallisuuden ja omien pohdintojen kautta. Työssä käytettiin pääosin kotimaisia ja kansainvälisiä internetlähteitä.

Viitekehyksessä käytiin läpi yleistä tietoa ilmastonmuutokseen ja abioottisiin metsätuhoihin liittyen. Ilmastonmuutoksesta käytiin läpi, mitä ilmastonmuutos tarkoittaa, mistä ilmastonmuutos aiheutuu, mitä kasvihuoneilmiö on ja miten se liittyy ilmastonmuutokseen, sekä mitä seurauksia ilmastonmuutoksesta on. Lisäksi tarkasteltiin ilmastonmuutosta Euroopassa ja Suomessa. Abioottisista metsätuhoista käytiin läpi, mitä niillä tarkoitetaan ja käytiin läpi esimerkkejä tapahtuneista abioottisista metsätuhoista Suomessa. Viitekehysaiheiden jälkeen siirryttiin tarkastelemaan käsiteltäviä abioottisia metsätuhoja.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin ilmasto- ja säätekijöiden aiheuttamia merkittävimpiä abioottisia metsätuhoja, joita ovat myrsky- ja tuulituhot, metsäpalot ja lumituhot. Jokaisesta käsiteltävästä abioottisesta metsätuhosta tehtiin yleiskuvauksia, jossa kerrotaan tuhon oireista, esiintymisestä, tuntomerkeistä, metsätaloudellisesta vaikutuksesta sekä torjuntakeinoista. Yleiskuvauksen jälkeen käsiteltiin ilmastonmuutoksen vaikutusta kyseiseen tuhoon.

Opinnäytetyössä käsiteltiin lisäksi, miten metsänhoidolla voidaan varautua ilmastonmuutoksen aiheuttamiin tuhoihin. Pohdinnassa käsiteltiin opinnäytetyön luotettavuutta, työn tärkeimpiä sisältöjä ja havaintoja, sekä tulevaisuuden näkymiä.

2 ILMASTONMUUTOS

2.1 Mitä ilmastonmuutos tarkoittaa?

Ilmastolla tarkoitetaan keskimääräisiä fyysisiä sääolosuhteita ilmakehässä, joita ovat esimerkiksi lämpötila, ilmankosteus, ilmanpaine ja sateet, ja niitä on mitattu pidemmällä ajanjaksolla tietyllä alueella (Tieteen kuvalehti s.a.).

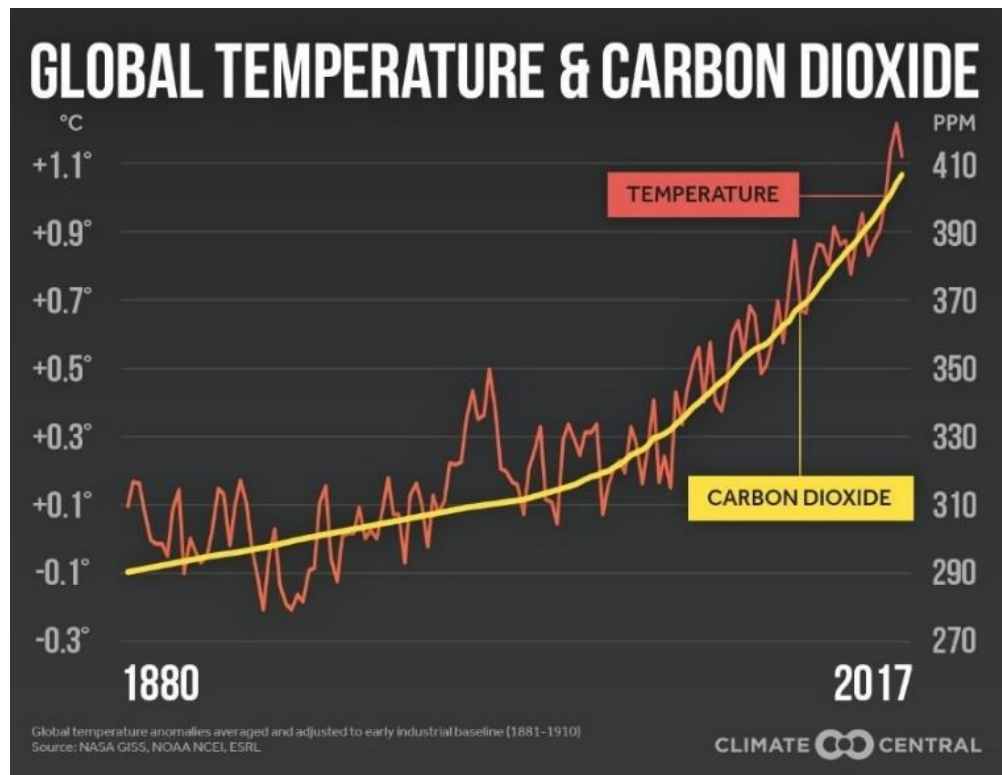
Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan ilmastotilan muutosta, jonka pystyy havaitsemaan esimerkiksi tilastollisilla testeillä ja muutos on kestänyt pitkään, tyypillisesti vuosikymmeniä tai enemmän. Ilmastonmuutos voi aiheutua luonnollisista sisäisistä prosesseista tai ulkoisista voimista, kuten aurinkosyklien muutoksista, tulivuorenpurkauksista ja pysyvistä ihmisten aiheuttamista muutoksista ilmakehän koostumuksessa tai maankäytössä. (Matthews 2018.)

UNFCCC:n (1992, 7) mukaan ilmastonmuutoksella viitataan suoraan tai epäsuoraan muutokseen, jonka ihmisen ilmakehän koostumusta muuttava toiminta aiheuttaa ja muutos on havaittavissa luonnollisen ilmaston vaihtelun lisäksi vertailukelpoisin ajanjaksoin.

2.2 Kasvihuoneilmiö ja ilmastonmuutoksen syyt

Ilmasto on muuttunut aina, mutta nykyinen muutos on ollut poikkeuksellisen nopea teollisen vallankumouksen aikana (Open ilmasto-opas s.a.). Kuvassa 1

esitetään maapallon keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mittaustuloksia esiteollisuuden jaksosta lähtien.



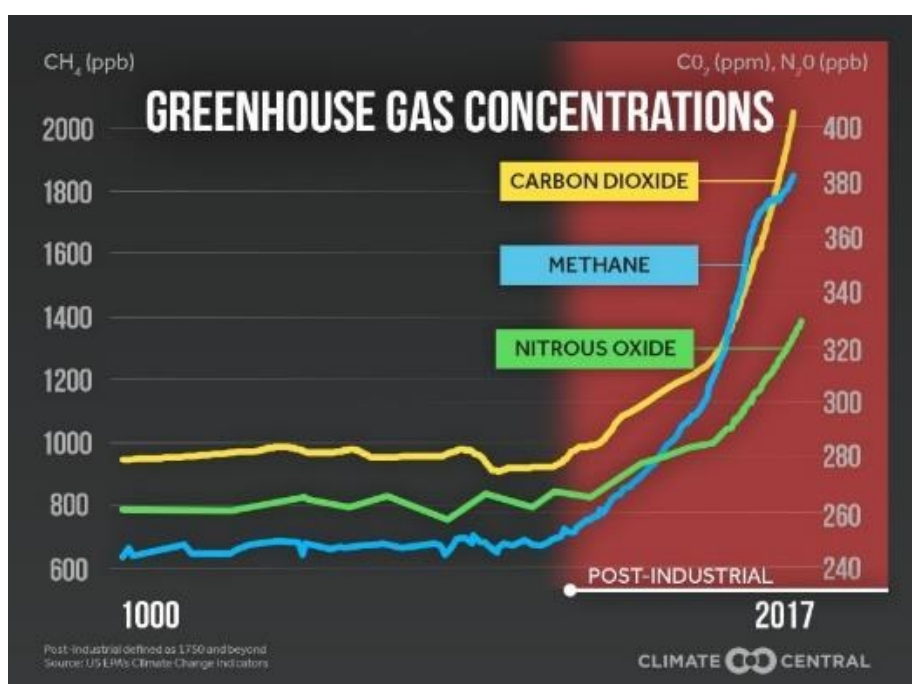
Kuva 1. Maapallon keskilämpötila ja hiilidioksidipitoisuus esiteollisuuden jaksosta lähtien (Climate Central 2018)

Punainen käyrä viittaa keskilämpötilaan ja keltainen käyrä hiilidioksidiin (CO₂). Kuvasta näkee, että maapallon keskilämpötila ja hiilidioksidipitoisuudet ovat kasvaneet esiteollisuuden jaksosta lähtien. Maapallon keskilämpötila korreloi selkeästi ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kanssa. Hiilidioksidipitoisuus oli esiteollisuuden aikana noin 280 ppm. (Sihto-Nissilä 2019.) Toukokuussa 2020 Mauna Loa observatoriossa mitattiin korkein kuukausittainen hiilidioksidipitoisuuden määrä, joka oli 417 ppm (Monroe 2020).

Ilmastonmuutos aiheutuu voimistuneesta kasvihuoneilmiöstä (CO₂-raportti s.a.). Kasvihuoneilmiö tarkoittaa ilmakehän kykyä imeä heijastuvaa lämpösäteilyä maan pinnalta. Kyseinen eristyskyky tarkoittaa, ettei lämpö karkaa avaruuteen ja lämpötila maassa on korkeampi kuin ilman kasvihuoneilmiön vaikutusta. Kasvihuoneilmiö on välttämätön maapallon elämälle. Sen ansiosta keskilämpötila maapallolla on noin 14 astetta. Ilman kasvihuoneilmiötä lämpötila maassa olisi suunnilleen -19 astetta. Kasvihuoneilmiö syntyy siten, että auringon säteilystä noin 30 % heijastuu takaisin avaruuteen maan pinnasta ja

pilvistä, ja loput säteilystä imeytyy maahan, joka siten lämpiää. Maa heijastaa lämpöenergiaa infrapunasäteilynä, josta pieni osa karkaa avaruuteen ja loput imeytyvät kasvihuonekaasuihin ja pilviin, joiden kautta maa ja ilmakehä edelleen lämpenevät. Maa on lähellä termodynaamista tasapainoa eli tilaa, jossa auringosta saatu energia on kutakuinkin yhtä paljon, kuin minkä maa heijastaa takaisin avaruuteen. Ihmisen toiminta ja kasvihuonepäästöjen lisääntyminen on aiheuttanut kyseiseen tilaan epätasapainon. Maapallon lämpötila nousee, koska auringon ja kasvihuoneilmiön vaikutuksesta maa saa 0,3 % enemmän energiaa kuin mitä maa heijastaa avaruuteen. (Poulsen & Wium 2020.)

Kasvihuonekaasuja esiintyy ilmakehässä luonnostaan, mutta ihmisen toiminta on lisännyt niiden määrää. Erityisesti hiilidioksidin, metaanin, typpioksiduulin ja fluorikaasujen määrä on lisääntynyt. Yleisin ihmisen toiminnassa syntyvä kasvihuonekaasu on hiilidioksidi (CO_2), jonka osuus on arviolta 63 % ihmisen aiheuttamasta ilmaston lämpenemisestä. Muita kasvihuonekaasuja vapautuu ilmakehään pienempiä määriä, mutta ne estävät lämmön karkaamista paljon voimakkaammin verrattaessa hiilidioksidiin. Kyseisiä kasvihuonekaasuja ovat esimerkiksi typpioksiduuli, jonka osuus on 6 % ja metaani, jonka osuus on 19 % (Ilmastonmuutoksen syyt s.a.) Kuvassa 2 esitetään kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli) pitoisuuksien kasvua ilmakehässä jälkiteollisuuden jaksosta (1750) lähtien.



Kuva 2. Kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli) pitoisuudet jälkiteollisuuden jaksosta (1750) lähtien (Climate Central 2018)

Keltainen käyrä viittaa hiilidioksidiin (CO₂), sininen käyrä metaaniin (CH₄) ja vihreä käyrä typpioksiduuliin (N₂O). Kuvasta nähdään, että jälkiteollisuuden jaksosta (1750) lähtien kyseisten kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet selkeästi ilmakehässä.

Kasvihuonepäästöjen lisääntymistä aiheuttaa eniten fossiilisten polttoaineiden eli hiilen, öljyn ja kaasun käyttö energiantuotannossa ja liikenteessä (Open ilmasto-opas s.a.). Hiilen, öljyn ja kaasun käytöstä syntyy hiilidioksidia ja typpioksiduulia. Lisäksi metsien hävitys aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä, kotieläintuotannon lisääntyminen metaanipäästöjä ja typpilannoitteiden käyttö typpioksiduulipäästöjä. Fluorikaasuja pääsee ilmakehään myös pienissä määrin. (Ilmastonmuutoksen syyt s.a.) Kylmä -ja ilmastointilaitteet aiheuttavat eniten fluorikaasupäästöjä. Fluorikaasut lämmittävät ilmastoa jopa tuhansia kertoja tehokkaammin verrattuna hiilidioksidiin. (Ympäristöministeriö 2014.)

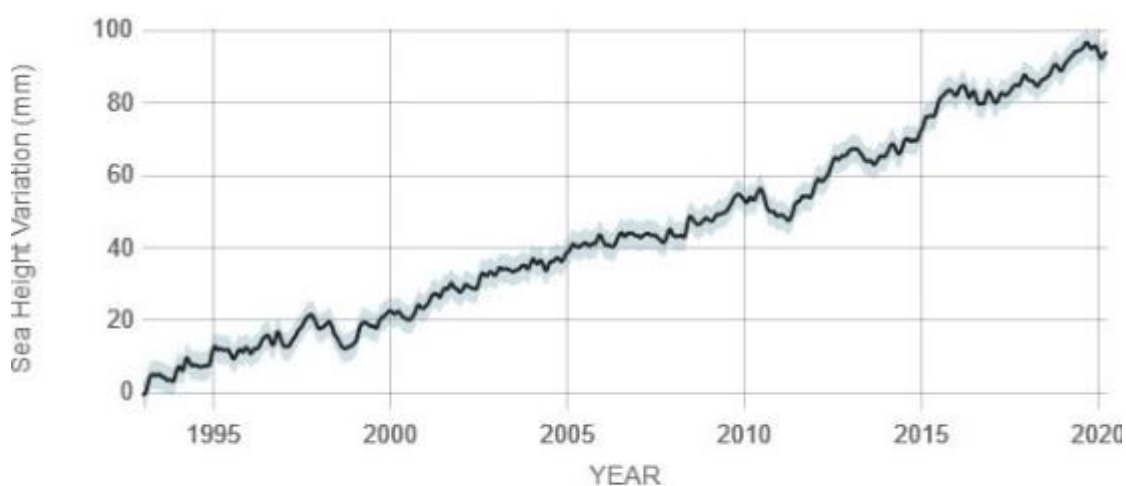
Asiantuntijat ovat samaa mieltä, että ihmiset aiheuttavat paljon ilmastoon vaikuttavia kasvihuonekaasupäästöjä. Churchin & Clarkin (2013) mukaan on 95 % todennäköisyys sille, että vuosien 1951 - 2020 välillä yli puolet tapahtuneesta lämpenemisestä on ihmisten syytä. Samaa mieltä ilmastotutkijat eivät ole kuitenkaan siitä, miten suuri osa ilmastomuutoksesta on ihmisten aiheuttamaa. Toiset asiantuntijat ovat sitä mieltä, että ilmastomuutos johtuu pääosin luonnollisista tekijöistä eikä ihmisten toiminnasta ja luonnollisten syiden takia ilmastolle on ominaista lyhyen ja pitkänkin aikavälin vaihtelut. Vastaavasti toiset asiantuntijat ovat sitä mieltä, että ihmisten aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat suurin syyllinen ilmaston lämpenemiseen ja saasteiden vaikutus näkyy vain osittain, koska ilmasto reagoi hitaasti muutokseen. (Poulsen & Wium 2020.)

2.3 Ilmastonmuutoksen seuraukset

Ilmastonmuutos on aikakautemme pahin ympäristöuhka (CO₂-raportti s.a.). Ilmastonmuutoksella on vaikutuksia kaikkialle maapallolla ja vaikutukset tulevat arvioiden mukaan voimistumaan tulevina vuosikymmeninä (Ilmastonmuutoksen seuraukset s.a.).

Maailmanlaajuinen lämpeneminen aiheuttaa napajäätiköiden ja muiden jäätiköiden sulamista. Veden lämmitessä vesi laajenee. Näiden muutoksien kautta merenpinta nousee, mikä aiheuttaa rannikkoalueille ja alangoille tulvia ja eroosiota. (Ilmastonmuutoksen seuraukset s.a.) Merenpinnan nousun takia alavat rannikkoseudut uhkaavat jäädä veden alle. Rannikkoseuduilla sijaitsee suuria kaupunkeja, paljon teollisuutta ja ne ovat maailman tiheimmin asuttuja alueita. (Ilmasto.org s.a.) Lisäksi järvet ja joet jäätyvät myöhemmin ja sulavat aikaisemmin (CO₂-raportti s.a.).

Merenpinta on noussut 19 cm jaksolla 1901 - 2010 (Church & Clark 2013, 3). Kuvassa 3 esitetään merenpinnan muutosta (mm) vuodesta 1993.



Source: climate.nasa.gov

Kuva 3. Merenpinnan nousu (mm) vuodesta 1993 (Shaftel ym. 2020)

Merenpinta on noussut selkeästi vuodesta 1993 lähtien. Merenpinnan nousu on ollut keskimäärin 3,3 millimetriä vuodessa. Tammikuun 1993 ja maaliskuun 2020 välillä merenpinta on noussut yhteensä 94 (+-4) mm. Data on kerätty satelliittien avulla. (Shaftel ym. 2020.)

Lämpenevän ilmaston takia sääolosuhteet tulevat arvaamattomiksi (Ilmasto.org s.a.). Äärimmäiset sääolot kuten rajut helleaallot, kuivuus ja rankkasateet yleistyvät. Ennusteiden mukaan kuivuus pahenee kuivilla alueilla. Lisäksi helleaallot, rankkasateet, tulvat ja hirmumyrskyt lisääntyvät ja voimistuvat. (CO₂-raportti s.a.) Äärimmäiset sääolot voivat aiheuttaa vedenlaadun

heikkenemistä ja joillakin alueilla jopa vesivarojen hupenemista (Ilmastonmuutoksen seuraukset s.a.).

Pachaurin & Meyerin (2015) mukaan maanpinnan keskilämpötila on nykyään 0,85 astetta korkeampi kuin 1880-luvulla. Lämpötilan nousu on jo vaikuttanut maapallon luontoon ja ihmisten elinoloihin monella eri tavalla. Negatiivisia vaikutuksia aiheutuu muun muassa luonnon monimuotoisuudelle ja ekosysteemeille, eläinten ja ihmisten terveydelle, toimeentuloille ja elinkeinoille sekä infrastruktuurille ja rakennuksille. (CO₂-raportti s.a.)

Terveysteen liittyviä vaikutuksia on jo nähtävissä veden välityksellä tarttuvien tautien ja tartunnanvälittäjien levinneisyydessä. Joillakin alueilla kuumuuteen liittyvät kuolemantapaukset ovat lisääntyneet ja kylmyyteen liittyvät kuolemantapaukset ovat vastaavasti vähentyneet. Ilmastonmuutos aiheuttaa erityisesti ongelmia köyhiin kehitysmaihin, koska näissä maissa ihmiset ovat yleensä todella riippuvaisia ympäristöstä ja luonnonoloista sekä heidän resurssinsa vastata ilmastonmuutoksen haasteisiin on vähäisempi verrattuna muihin maihin. (Ilmastonmuutoksen seuraukset s.a.)

Ilmastonmuutos aiheuttaa eläinten ja kasvien elinolojen muuttumista sekä eläin- ja kasvipopulaatioiden pienentymistä (CO₂-raportti s.a.). Useat eliölajit muuttavat uusiin elinympäristöihin makeassa ja suolaisessa vedessä sekä maalla. Monilla kasvi- ja eläinlajeilla on vaikeuksia selviytyä ilmastonmuutoksen nopeista vaikutuksista. Lisäksi joillakin lajeilla on suurempi riski hävitä sukupuuttoon, jos maapallon keskilämpötila jatkaa nousemistaan. (Ilmastonmuutoksen seuraukset s.a.) Jotkut kasvit, bakteerit ja eläimet kuolevat, toiset vastaavasti jatkavat leviämistään entistä laajemmalle (Poulsen & Wium 2020).

Ihmisten terveydelle, omaisuudelle ja infrastruktuurille aiheutuneet vahingot tuovat isoja kustannuksia taloudelle ja yhteiskunnalle. Esimerkiksi vuosina 1980 - 2011 tapahtuneet tulvat aiheuttivat taloudellisia tappioita yli 90 miljardin euron edestä ja tulvat vaikuttivat yli 5,5 miljoonan ihmisen elämään. Alat, jotka ovat voimakkaasti riippuvaisia säätilasta ja sademääristä, kuten maa- ja metsätalouden, energiantuotannon ja matkailun alat, tulevat kärsimään eniten ilmastonmuutoksen vaikutuksista. (Ilmastonmuutoksen seuraukset s.a.)

Ilmastonmuutoksen positiivisia vaikutuksia ovat muun muassa lisääntyvä puuntuotanto, kasvavat satomäärät joillakin alueilla sekä talviajan vähenevä energiankulutus pohjoisilla alueilla (CO₂-raportti s.a.).

Tutkijat ovat arvioineet, että ilmaston lämmetessä yli kahteen asteeseen verrattuna esiteollisuuden kauteen, ympäristö voi muuttua vaarallisella tavalla ja seuraukset voivat olla jopa katastrofaaliset. Tämän takia kansainvälinen yhteisö on päättänyt, että ilmaston lämpeneminen on pidettävä alle kahdessa asteessa verrattuna esiteolliseen tasoon. (Ilmastonmuutoksen syyt s.a.)

2.4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset Euroopassa

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia näkyy jo laajasti ihmisten terveydessä ja hyvinvoinnissa, ekosysteemeissä ja talouden eri aloilla. Ilmastonmuutos vaikuttaa kaikkialla Euroopassa, mutta vaikutukset vaihtelevat alueittain. (Euroopan parlamentti 2018a.) Ilmastonmuutoksen seurauksena muun muassa sademäärät ovat kasvaneet, tulvariski on lisääntynyt, lämpötilat ovat nousseet ja aavikoitumisriski kasvanut (Euroopan parlamentti 2018b). Suurin osa ilmastonmuutoksen vaikutuksista on haitallisia, mutta hyödyllisiäkin muutoksia löytyy, joita ovat esimerkiksi maanviljelyn helpottuminen ja lämmityksen tarpeen väheneminen (Euroopan parlamentti 2018a).

Euroopan arktisella alueella ilmastonmuutoksen seurauksena lämpötila nousee keskimääräistä enemmän, Jäämeren ja Grönlannin jääpeitteet pienenevät, ikiroudan määrä vähenee sekä riski biodiversiteetin vähenemiseen kasvaa. Lisäksi paikallisten ihmisten elinkeinot ovat vaarassa. Positiivisia vaikutuksia näkyy luonnonvarojen käytön uusissa mahdollisuuksissa ja merikuljetuksissa. (European Environment Agency 2016.)

Euroopan pohjoisella alueella sateet lisääntyvät, lumi ja jää vähenevät, jokien virtaukset voimistuvat, tuholaisien uhka lisääntyy ja talvimyrskyt ovat tuhoisampia. Positiivisia vaikutuksia ovat metsien nopeampi kasvu, tuottoisammat sadot, energian tarpeen väheneminen lämmityksessä, vesivoiman käyttömahdollisuuksien lisääntyminen sekä turistimäärän kasvu kesäisin. (European Environment Agency 2016.)

Euroopan vuoristoalueilla lämpötila nousee keskimääräistä enemmän, jäätiköt sulavat ja pienenevät, eläimet ja kasvit siirtyvät korkeammalle, sukupuuton sekä tuhojen riski kasvaa. Lisäksi kivi- ja maanvyörymien riski kasvaa ja vesivoiman käyttö voi olla uhattuna. Taloudellinen vaikutus on hiihtoturistien väheneminen. (European Environment Agency 2016.)

Euroopan manneralueella vaikutuksia ovat äärisäätilojen määrän nousu, sateen väheneminen kesäisin, jokien tulvariskien kasvaminen ja metsäpalojen riskin kasvaminen. Taloudellisia vaikutuksia ovat metsien arvon lasku sekä energian tarpeen kasvaminen viilentämisessä. (European Environment Agency 2016.)

Euroopan Atlantin rannikkoalueella sää huononee, rankkasateet lisääntyvät, jokien virtaukset suurenevät, tulvariski kasvaa ja talvimyrskytuhojen riski kasvaa. Taloudellisia vaikutuksia näkyy energian tarpeen vähenemisessä lämmitykseen. (European Environment Agency 2016.)

Euroopan Välimeren alueella helteet lisääntyvät, sateet vähenevät, jokien virtaukset pienenevät, kuivuuden riski kasvaa, metsäpalojen riski kasvaa ja biodiversiteetin vähenemisen riski kasvaa. Taloudellisia vaikutuksia näkyy veden kysynnän kasvamisessa, satojen pienemisessä, veden tarpeen lisääntymisessä maanviljelyyn, energian tuotannon vaikeutumisessa sekä energian tarpeen lisääntymisessä viilentämiseen. Lisäksi turistien määrä laskee kesällä, mutta voi nousta muina kausina. Välimeren alueella suurin osa talouden sektoreista kärsii ilmastonmuutoksen seurauksista. Välimeren alue on myös herkkä Euroopan ulkopuolisilta alueilta tuleville vaikutuksille. Äärimmäisten helteiden takia ihmisiä kuolee enemmän. Myös kilpailu vedenkäytöstä kasvaa. (European Environment Agency 2016.)

Euroopan rannikko- ja merialueilla merenpinta nousee, meret happamoituvat ja pintalämpötila kohoaa. Lisäksi kuolleet merialueet laajenevat, merieläinlajit siirtyvät pohjoisempaan ja kasviplanktonyhteisössä tapahtuu muutoksia. Taloudelliset vaikutukset liittyvät kalastuksen uhkiin ja mahdollisuuksiin. Veden välityksellä leviävien tautien riski kasvaa. (European Environment Agency 2016.)

Vuonna 2008 Euroopan Unioni asetti tavoitteen, jossa kasvihuonepäästöjä vähennettäisiin 20 % verrattuna vuoden 1990 tasoon (Euroopan parlamentti 2018b). Kuvassa 4 esitetään EU:n kasvihuonekaasupäästöjen kehitys, ennusteet sekä tavoitteet vuoteen 2030 mennessä.



Kuva 4. EU:n kasvihuonekaasupäästöjen kehitys (Euroopan parlamentti 2020)

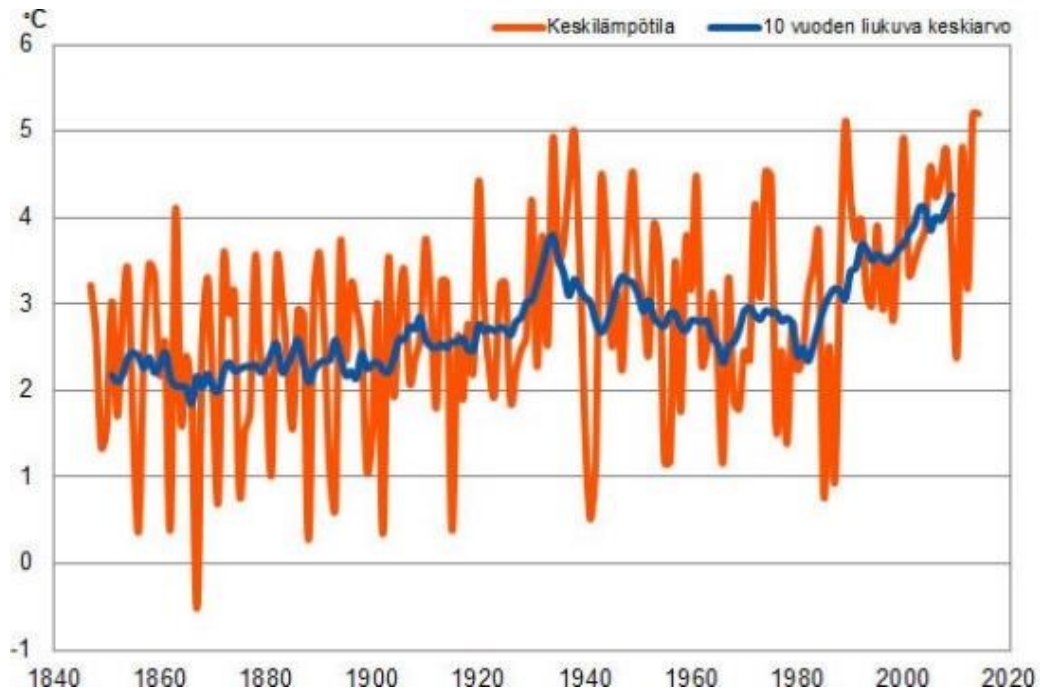
Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on kehittynyt hyvin, sillä vuoden 2015 kasvihuonekaasupäästöjen määrä oli 22 % pienempi kuin vuonna 1990. EU päätti Pariisin ilmastopöytäkirjassa vuonna 2015 uudesta tavoitteesta, jossa kasvihuonekaasupäästöjä vähennettäisiin vuoteen 2030 mennessä ainakin 40 % verrattuna vuoden 1990 tasoon. Vuoden 2030 tavoite ei näytä toteutuvan jäsenmaiden nykyisiin toimiin perustuvien ennusteiden perusteella. (Euroopan parlamentti 2018b.) Tavoitteena on myös tehdä EU:sta hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä (Euroopan parlamentti 2019).

2.5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa

Ilmastonmuutos on globaali ilmiö, joka koskee merkittäväällä tavalla myös Suomea (Äijälä ym. 2019). Ilmastonmuutoksen myötä Suomen ilmasto tulee lämpenemään ja muuttumaan sateisemmaksi. Kasvillisuusvyöhykkeet ovat jo vetäytymässä pohjoisempaan ja eteläiset lajit menestyvät paremmin. Veden kierto muuttuu sekä lumen ja jään määrä vähenee. (Suomen ympäristökeskus SYKE 2013.) Kasvitautilien, sienten ja tuholaisten aiheuttamat tuhot yleistyvät. Ilmastonmuutos heikentää puun korjuuolosuhteita (MTK 2017.)

Luonnon tuottamat tärkeät palvelut ja hyödykkeet ovat uhattuina. Näitä ovat esimerkiksi monimuotoiset ekosysteemit sekä hyvälaatuiset vesivarat. Ilmastonmuutos vaikuttaa maa-, metsä- ja kalatalouteen, luontomatkailuun sekä kaupunkiympäristöjen maankäyttöön. Vaikutukset luonnon ympäristöön ja yhteiskuntaan riippuvat muutoksien suuruudesta. Lisäksi maailmantalouden ja kansainvälisen politiikan kautta tulee merkittäviä vaikutuksia. Ilmastonmuutoksesta on myös hyötyä Suomessa, sillä metsien kasvu nopeutuu, sadot todennäköisesti kasvavat ja lämmityksen tarve vähenee. (Suomen ympäristökeskus SYKE 2013.) Ilmaston lämpeneminen voi lisätä boreaalisen vyöhykkeen metsien tuottoa (Hakkuukertymä kasvaa... s.a.).

Suomessa lämpötilojen arvioidaan kasvavan nopeammin kuin maapallolla keskimäärin. Vuosisadan loppuun mennessä vuoden keskilämpötilan arvioidaan nousevan Suomessa 2 - 6 astetta. Suomen pohjoisosa lämpenee enemmän kuin eteläosa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011, 12.) Suurin osa Suomea tulee kuulumaan eri ilmastovyöhykkeeseen kuin nykyään vuosisadan päättyessä (Ilmatieteenlaitos ym. 2011). Kuvassa 5 esitetään Suomen keskilämpötilan kehitystä välillä 1847 - 2014.



Kuva 5. Keskilämpötilan kehitys Suomessa välillä 1847-2014 (Suomen ympäristökeskus SYKE 2015)

Suomessa keskilämpötila on noussut noin asteen sadan vuoden aikana. Viimeisen 20 vuoden aikana keskilämpötila on noussut erityisen nopeasti. Lämpeneminen on ollut voimakkainta keväällä. (Suomen ympäristökeskus SYKE 2015.) Talvet ovat kuitenkin lämmenneet eniten viimeisten vuosikymmenien aikana (Ilmatieteenlaitos ym. 2011). Kuvassa olevan keskilämpötilan mittaus-tiedot perustuvat neljään havaintoasemaan, joita ovat Helsingin Kaisaniemi, Kuopion lentoasema, Kajaanin lentoasema ja Oulun lentoasema (Suomen ympäristökeskus SYKE 2015).

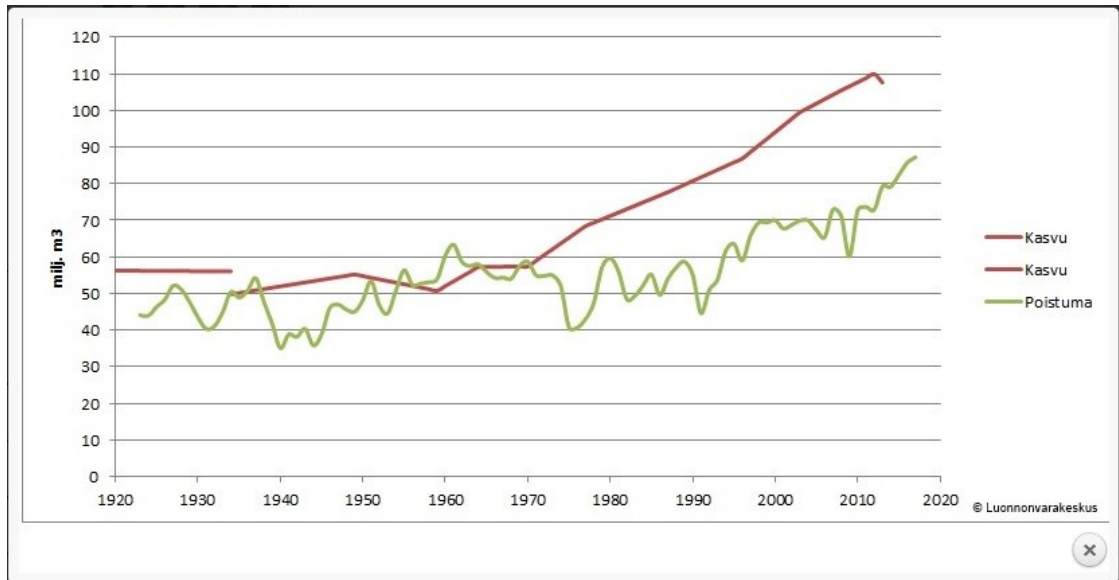
Metsätalousmaata on Suomen maapinta-alasta 86 % eli 26,2 miljoonaa hehtaaria. Suurin osa tästä on puuntuotantoon käytettävää metsämaata, 20,3 miljoonaa hehtaaria. Kitumaata on 2,5 miljoonaa hehtaaria ja joutomaata 3,2 miljoonaa hehtaaria. Soita on noin 9 miljoonaa hehtaaria ja noin puolet niistä on ojitettu. (Metsäntutkimuslaitos 2014, 33.) Metsämaa tarkoittaa puun tuottamiseen käytettyä tai käytettävissä olevaa maata. Metsämaalla puuston vuotuinen keskikasvu on suotuisimpien kasvuolojen vallitessa ja suositeltavaa kiertoaikaa noudattaessa vähintään 1 kuutiometri hehtaaria kohden. Kitumaa on esimerkiksi karu suo, kivikkoinen tai kallioinen maa, jossa puusto on harvaa ja latvukset eivät sulkeudu. Kitumaalla puuston vuotuinen keskikasvu on 100 vuoden kiertojalla alle 1 kuutiometri hehtaaria kohden, mutta vähintään 0,1 kuutiometri hehtaaria kohden. Joutomaa tarkoittaa lähes puutonta maata,

jossa vuotuinen keskikasvu on 100 vuoden kiertoajalla alle 0,1 kuutiometri hehtaaria kohden. Joutomaat ovat selvästi puuntuotannon ulkopuolella olevaa aluetta ja niitä ovat esimerkiksi harvapuustoiset kalliot, avosuot- ja hietikot. (Äijälä ym. 2014, 152.)

Suomen kokonaispuuston määrä on 2,5 miljardia kuutiometriä ja vuotuinen kasvu 107 miljoonaa kuutiometriä (Luke 2018a). Puuston tilavuus on kasvanut lähes 60 % viimeisen 40 vuoden aikana. 90 % puuston tilavuudesta sijaitsee metsämaalla. (Metsäntutkimuslaitos 2014.)

Metsätalouden näkökulmasta ilmastonmuutoksella on suoria ja epäsuoria vaikutuksia. Suora vaikutus on esimerkiksi puiden lisääntyvä kasvu ja epäsuora vaikutus metsätuhoriskien lisääntyminen. (Matala & Nuutinen 2010.) Ilmaston lämpenemisellä, kasvukauden pitenemisellä sekä lisääntyvällä ilmankehän hiilidioksidipitoisuudella on positiivisia vaikutuksia hiilinieluun ja puuston kasvuun. Puuston kasvua voi rajoittaa kuitenkin se, ettei maaperästä vapaudu tarpeeksi ravinteita. (Ilmastonmuutos kiihdyttää... s.a.) Metsien nopeutunut kasvu näkyy hakkuukertymän kasvussa ja nopeammassa korjuukierrossa (MTK 2017).

Vuosisadan loppuun mennessä Suomen potentiaalinen hakkuukertymä voi kasvaa 56 % ja pidemmällä aikavälillä mahdollisesti jopa 80 %. Metsätalouden harjoittamisen mahdollisuudet paranevat mahdollisesti Suomen pohjoisimmissa osissa. Pohjois-Suomen hakkuukertymä tulee olemaan kaksi kolmasosaa Etelä-Suomen hakkuukertymästä. (Hakkuukertymä kasvaa... s.a.) Kuvassa 6 esitetään Suomen puuston kasvua ja poistumaa vuodesta 1920 lähtien.



Kuva 6. Suomen puuston vuotuinen kasvu ja poistuma (Luke 2018b)

Puusto on kasvanut voimakkaasti 1970-luvusta lähtien. Vuotuinen kasvu on ollut selvästi poistumaa suurempaa 1970-luvun alusta lähtien. Kasvuun on vaikuttanut pääosin tehostunut metsänhoito sekä soiden ojitus metsätaloukseen välillä 1950 - 1980. Viime vuosikymmeninä ilmaston vaikutus puuston tilavuuden kasvuun on ollut vielä vähäistä. (Ilmastonmuutos kiihdyttää... s.a.)

Metsät kykenevät pitkällä aikavälillä sopeutumaan luontaisesti ilmaston lämpenemisen aiheuttamiin vaikutuksiin. Muuttuviin ilmasto-oloihin kykenevät parhaiten sopeutumaan runsaat ja monimuotoiset metsät. Ilmastonmuutoksella on vaikutuksia puulajisuhteisiin ja metsälajien vuorovaikutussuhteisiin. (Hakkuukertymä kasvaa... s.a.) Ilmastonmuutos pidentää kasvukautta ja puuston kasvuolosuhteet (esim. lämpöolosuhteet) muuttuvat otollisemmiksi puuston hiilensidonnalle ja kasvulle. Näin tapahtuu etenkin Pohjois-Suomessa, sillä metsien kasvua on rajoittanut melko alhaiset kesälämpötilat ja lyhyehkö kasvukausi, toisin kuin Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa puuston kasvun oletetaan lisääntyvän suhteellisesti enemmän kuin Etelä-Suomessa. (Äijälä ym. 2019.)

Osa metsälajeista tulee hyötymään ilmaston lämpenemisestä. Suomen puulajeista yksikään ei näytä häviävän ilmastonmuutoksen seurauksena, mutta kuusen, männyn ja koivun valtasuhteet muuttuvat todennäköisesti metsissä. (Ilmastonmuutoksen vaikutukset... s.a.) Ilmaston lämmetessä kuusen kasvu

voi kärsiä Etelä-Suomessa. Lisäksi kuusi voi kärsiä lisääntyvästä kuivuudesta hyvin vettä läpäisevillä kasvupaikoilla. Voimakas lämpeneminen voi heikentää jopa mäntyjen kasvua. (Äijälä ym. 2019.) Ilmaston lämpenemisen takia kuusen kasvu taantuu, mutta mänty ja eteläiset lehtipuulajit menestyvät paremmin. Varsinkin Etelä- ja Keski-Suomessa koivujen määrä lisääntyy ja koivut tulevat menestymään kuusta paremmin lukuun ottamatta kosteimpia kasvupaikkoja. Etelä-Suomeen saapuu mahdollisesti myös uusia tulokaslajeja. Pohjois-Suomessa kuusi ja mänty menestyvät tunturikoivua paremmin laajemmilla alueilla. (Ilmastonmuutoksen vaikutukset... s.a.)

3 ABIOTTISET METSÄTUHOT

3.1 Mitä abioottiset metsätuhot ovat?

Metsätuhot voidaan jakaa abioottisiin ja bioottisiin tuhoihin. Bioottinen metsätuho tarkoittaa elävien eliöiden aiheuttamia tuhoja. (Lehtonen 2019.) Abioottinen metsätuho tarkoittaa elottoman luonnon aiheuttamaa puustovauriota (Suomen metsäkeskus 2016a). Abioottiset tuhot vaikuttavat metsien koostumukseen, rakenteeseen ja toimintaan. Ne voivat olla myös tärkeitä biologisen monimuotoisuuden ylläpitämiselle sekä uudistamisen helpottamiselle. (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015.)

Abioottiset tekijät ovat luonnollinen ja kiinteä osa metsien ekosysteemejä, ja niillä on merkittäviä positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia. Kun nämä elottomat tekijät ylittävät normaalin vaihteluvälin, vaikutukset metsiin voivat olla äärimmäisiä. Tämä voi vaikuttaa kokonaisuun maisemiin, aiheuttaa laajoja puuston kuolemia ja tuhota täydellisesti aluskasvillisuuden ja maaperän. Abioottiset tekijät voivat pahentaa monia näitä vaikutuksia tekemällä metsät enemmän tuhoalttiiksi muuttamalla ajoitusta, voimakkuutta ja tiheyttä ilmiöille, kuten myrskyille, tuholaisien ja tautien leviämislle sekä helleaalloille. Tämä voi ilmetä muun muassa kuivuuden muotona, joka lisää laaja-alaisten tulipalojen riskiä. (U.S. Forest Service s.a.)

Metsäntutkimuslaitoksen (2018) mukaan abioottiset tekijät ovat ahava, halla, kuiva kasvukausi, liian korkea lämpötila, lumi, metsäpalo, ilmansaasteet, myrsky, neulasten vanheneminen, paannejää, puunkorjuun vaikutukset jäljelle jäävään puustoon, rakennustoiminnan vaikutukset puustoon, ravinnepuute,

rikki, routa, salama, talvipakkanen, tiesuola, rikkakasvien torjunta-aine vioitukset, tulva ja typpioksiidi. Merkittävimpiä abioottisia metsätuhoja Suomessa ovat tuuli- ja lumituhot (Lehtonen 2019). Taulukossa 1 esitetään metsikön metsänhoidollista laatua alentavien kuviotuhojen osuudet vuosina 2017 - 2018 sekä pinta-alaestimaatit puuntuotannon metsämaalla vuonna 2018.

Taulukko 1. Metsikön metsänhoidollista laatua alentavien tuhojen osuudet vuosina 2017–2018 sekä pinta-alaestimaatit puuntuotannon metsämaalla vuonna 2018 (Nuorteva 2019)

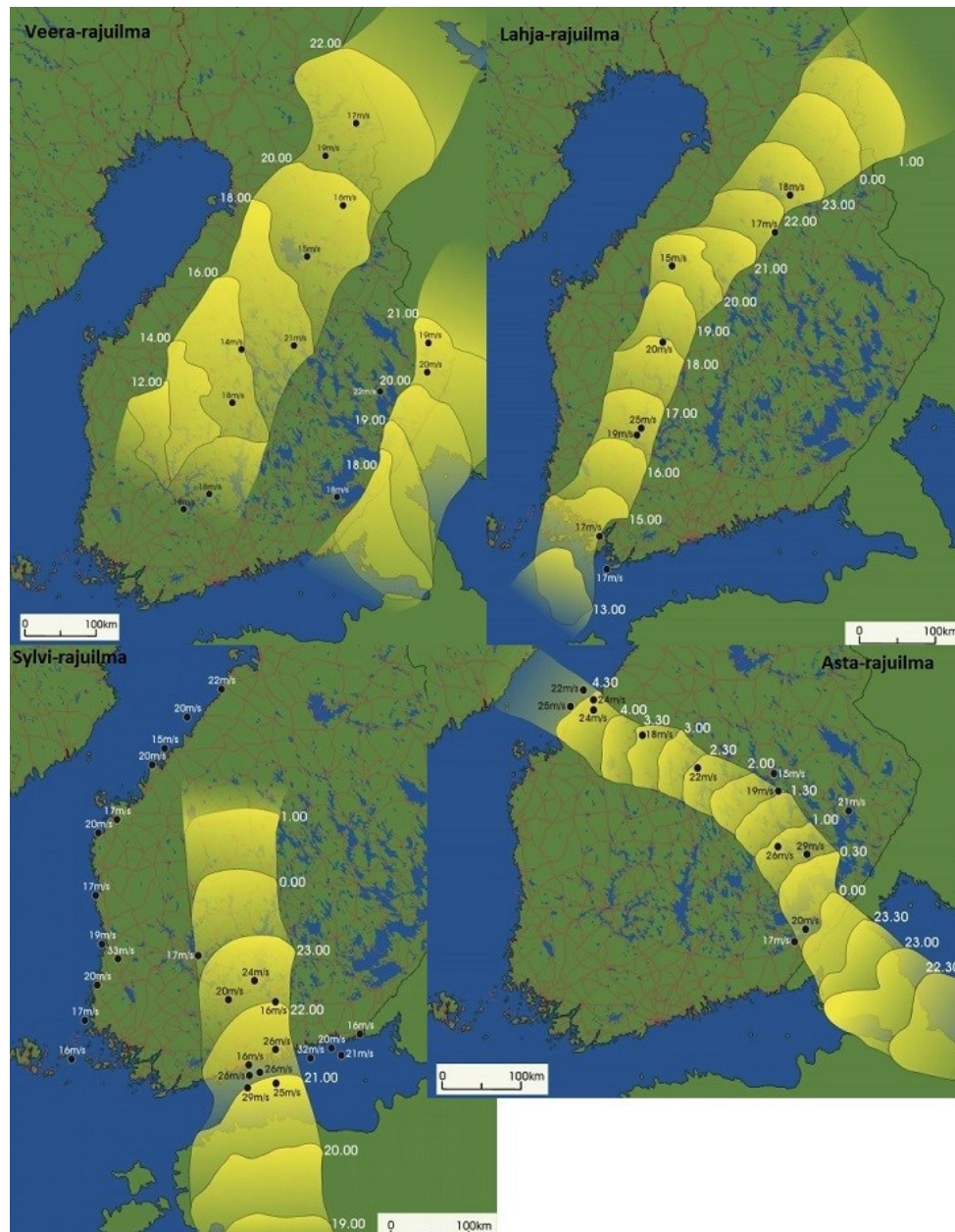
Aiheuttaja	% 2017	% 2018	km ² 2018
0 Tunnistamaton	5,92	4,95	9499
A0 Tunnistamaton abioottinen	,01	,02	36
A1 Tuuli	1,53	1,30	2490
A2 Lumi	7,47	8,02	15383
A3 Pakkanen	,24	,28	533
A4 Muut säätekijät	,16	,09	178
A5 Metsäpalo	,04	,02	42
A6 Muu maaperätekijä	,13	,16	300
A7 Puun korjuu	,14	,13	259
A9 Muu	1,16	,81	1552
AA Kuivuus	,03	,11	217
AB Ravinteiden epätasapaino	1,10	1,25	2399
AC Vetisyys	,51	,28	539
B0 Tunnistamaton hyönteinen	,10	,03	54
B1 Myyrät	,09	,21	409
B2 Hirvi	2,69	3,00	5755
B3 Muu selkärankainen	,07	,05	97
B4 Ytimennävertäjä	,03	,01	19
B5 Tukkimiehentäi	,02	,05	92
B6 Tunnistamaton mäntypistiäinen		,01	26
B7 Muut neulastuholainen		,03	54
B8 Kirjanpainaja	,11	,07	126
B9 Muu tunnistettu hyönteinen	,02	,01	18
BB Ruskomäntypistiäinen		,25	471
BC Muu hirvieläin	,02	,02	37
C0 Ei tunnistettu sieni	,06	,04	71
C1 Juurikäpä	,38	,38	737
C2 Muu lahottajasieni	1,50	1,48	2831
C3 Versosurma	,40	,58	1107
C4 Männynversoruoste	,13	,15	297
C5 Tervasroso	1,29	1,13	2169
C7 Karistesieni	,16	,26	490
C9 Muu tunnistettu sieni	,09	,21	408
CA Kuusensuopursuruoste	,09	,43	831
CC Harmaakariste	,06		
D1 Kilpailu	1,03	,82	1582
- Ei tuhoa	73,25	73,36	140761

Taulukosta 1 nähdään, että lumi oli selvästi suurin metsänhoidollista laatua alentava tuho vuosina 2017 - 2018. Abioottisista tuhoista toiseksi suurin oli tuulituhot vuosina 2017 - 2018. Esimerkiksi vuonna 2018 lumituhon osuus oli 8,02 % ja tuulituhon osuus 1,30 %. Tiedot oli kerätty valtakunnan metsien 12. inventoinnilla, joka toteutettiin vuosina 2014 - 2018. (Nuorteva 2019.)

3.2 Esimerkkejä tapahtuneista abiottisista metsätuhoista Suomessa

3.2.1 Vuoden 2010 rajuilmat

Suomessa esiintyi vuonna 2010 Asta-, Veera-, Lahja-, ja Sylvi-rajuilmat (Asikainen ym. 2019a). Ennätyksellisen hellekesän päätteeksi tapahtui laajoja tuhoja aiheuttavia rajuilmoja. Eri puolella Suomea ihmiset jäivät eristyksiin ilman sähköjä jopa vuorokausiksi syöksyvirtausten aiheuttamien metsätuhojen takia. (Ilmatieteenlaitos s.a.) Kyseiset rajuilmat aiheuttivat tähän mennessä suurimmat myrskytuhot. Puuta kaatui yhteensä 8,1 miljoonaa kuutiota. (Asikainen ym. 2019a.) Kuvassa 7 esitetään vuoden 2010 rajuilmojen eteneminen ja sijainti eri kellonaikoina.



Kuva 7. Vuoden 2010 rajuilmojen eteneminen ja sijainti eri kellonaikoina (Nurmi ym. 2010)

Mustat ympyrät osoittavat tuulimittauspisteiden suurimmat puuskalukemat (Nurmi ym. 2010). Taulukossa 2 esitetään tietoa Asta-, Veera-, Lahja-, ja Sylvi-rajuilmoista.

Taulukko 2. Tietoa vuoden 2010 rajuilmoista (Nurmi ym. 2010)

Vuoden 2010 rajuilmat	Asta	Veera	Lahja	Sylvi
Ajankohta	29.-30. heinäkuuta	4. elokuuta	7. elokuuta	8. elokuuta
Tuulen suunta	Luode	Koillinen	Koillinen	Pohjoinen
Voimakkaimmat puuskat	29 m/s Rantasalmi	22 m/s Liperi	25 m/s Tampere	30 m/s Suomenlahti
Tuhojen laajuus	30 000 km ²	110 000 km ²	30 000 km ²	42 000 km ²

Asta-rajuilma aiheutti mittavia metsätuhoja Savossa. Veera-rajuilman aikana paikannettiin yli 22 000 maasalamaa. Sylvi-rajuilman aikana paikannettiin yli 24 000 maasalamaa, joka on suurin vuorokautinen maasalamoiden määrä Suomessa 2000-luvulla. (Ilmatieteenlaitos s.a.)

Tuulituhojen seurauksena hyönteistuhoriski kasvaa (Nuorteva 2019). Suomessa kirjanpainajien määrä oli ollut vähäinen, mutta vuosina 2010 ja 2011 tuulituhot ja lämpimät kesät aiheuttivat kirjanpainajien joukkoesiintymisiä ja tuhoja aiheutui myös eläviin kuusiin (Lehtonen 2019).

3.2.2 Vuoden 2018 lumituhot

Lumituhota esiintyi vuoden 2018 talven aikana pääosin yli 200 metriä merenpinnasta sijainneissa Pohjois-Karjalan ja Kainuun männiköissä. Vuonna 2018 lumituhohakkuista ilmoitettiin Metsäkeskukselle lähes 53 000 hehtaarin alueelta. Luvussa on huomioitu kaikki metsänomistajaryhmät. Hakkuista kertyi puuta noin viisi miljoonaa kuutiometriä. Kainuussa hakkuuala oli lähes 22 000 hehtaaria ja Pohjois-Karjalassa lähes 21 000 hehtaaria. Hakkuista noin puolet tapahtui Metsähallituksen ja Tornatorin metsissä. Hakkuissa suosittiin pienaukko- ja poimintahakkuuta, sillä tykkylumi katkoo ja kaataa puita yleensä pienissä ryhmissä. Lumituhot koskettivat lähes 3 000 metsänomistajaa. Metsänomistajille aiheutuneet menetykset olivat 20 - 30 miljoonan euron luokkaa. (Korhonen ym. s.a.) Kuvassa 8 esitetään kartalla 1.12.2017 - 19.9.2018 saapuneet lumituhojen takia tehdyt metsänkäyttöilmoitukset.



Kuva 8. Lumituhojen takia tehdyt metsänkätöilmoitukset (Maanmittauslaitos & Suomen metsäkeskus 2020)

Suurimmat ympyrät tarkoittavat yli 50 hehtaarin alueita, joissa on tehty lumituhojen takia hakkuita. Pienemmät ympyrät viittaavat 10 - 50 hehtaarin alueisiin. Lumituhoja on voinut esiintyä kartalla esitettyjen alueiden ulkopuolellakin. (Maanmittauslaitos & Suomen metsäkeskus 2020.)

Lumituhojen seurauksena tuohyönteisten määrä kasvoi. Lumituhoalueilla vahingoittuneissa puissa kesän yli pesineet ytimennävertäjät olivat tuottaneet paljon uusia jälkeläisiä. Ytimennävertäjäpopulaatio oli moninkertaistunut tuhoalueilla verrattuna edelliseen kevääseen. Myös kirjanpainajien määrä kasvoi. (Korhonen ym. s.a.) Vuoden 2018 kevätkauden lisäksi kuusikot olivat kesällä

alttiita kirjanpainajatuhoille koko kasvukauden onnistuneen parveilun ja lisääntymisen takia (Nuorteva 2019).

4 ILMASTONMUUTOS JA ABIOTTISET METSÄTUHOT SUOMESSA

4.1 Tuuli- ja myrskytuhot

4.1.1 Yleiskuvaus

Tuulen suunta tarkoittaa suuntaa, josta tuuli puhaltaa. Eli tuuli puhaltaa kyseisestä ilmansuunnasta havaitсияа kohti. Ilmanpaineella ja tuulen nopeudella on yhteys. Mitä nopeammin ilmanpaine laskee tai nousee lyhyellä matkalla siirryttäessä pisteestä A pisteeseen B, sitä voimakkaampaa tuuli on. Voimakkaimmat tuulet sijaitsevat matalapaineen keskustan ja säärintamien lähetyvillä. (Ilmatieteenlaitos 2020a.) Taulukossa 3 esitetään tuuliasteikot, jotka perustuvat 10 minuutin keskituulen nopeuksiin.

Taulukko 3. Tuuliasteikot (Ilmatieteenlaitos 2020a)

Tuuliasteikko 10 minuutin keskituulen nopeuksille:

0 m/s	tyyntä
1–3 m/s	heikkoa tuulta
4–7 m/s	kohtalaista tuulta
8–13 m/s	navakkaa tuulta
14–20 m/s	kovaa tuulta
21–32 m/s	myrskyä
≥ 33 m/s	hirmumyrskyä

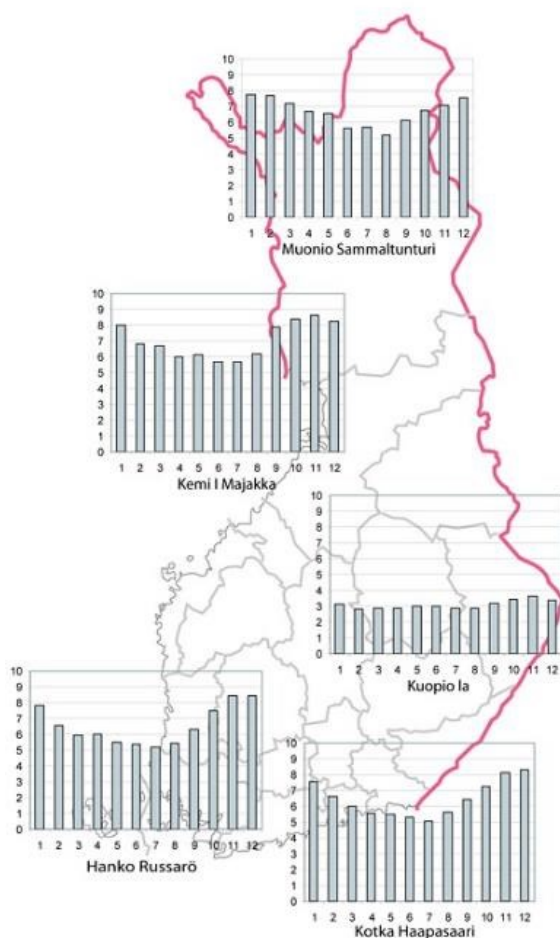
Kansainvälinen tuuliasteikko 10 minuutin keskituulen nopeuksille:

14–16 m/s	near gale
17–20 m/s	gale
21–24 m/s	severe gale
25–28 m/s	storm
29–32 m/s	violent storm
≥ 33 m/s	hurricane

Tuulen mittaamisesta ja tuuliasteikoista on sovittu kansainvälisesti. Nykyään tuulen puuskista saadaan enemmän mittaustietoa. Myös niiden ennustettavuus on parempaa kuin parikymmentä vuotta sitten. Tuulta on mitattu perinteisesti 10 minuutin keskiarvona, jolloin yksittäisien tuulen puuskien vaikutus on

pieni. Puuskat aiheuttavat vahinkoja erityisesti maa-alueilla, joten sen takia niitä käytetään maa-alueiden tuulivaroituksissa. (Ilmatieteenlaitos 2020a.)

Suomessa tuulee eniten talvikuukausina ja selvästi vähemmän kesäkuukausina. Maantieteellinen sijainti ja pääosin Atlantilta maahamme suuntautuvat matalapaineet sekä niiden kulkemat reitit vaikuttavat merkittävästi Suomen tuulioloihin. Suomessa keskimääräinen tuulen nopeus on noin kilometrin korkeudella 9 - 9,5 m/s, joka on selvästi suurempi kuin eteläisessä Euroopassa (7 - 8,5 m/s), mutta pienempi kuin Norjan rannikolla, Brittein saarilla tai Tanskassa (10 - 11,5 m/s). Maanpintaa kohti tultaessa tuulen nopeus pienenee. Pienemiseen vaikuttaa muun muassa maaston korkeuserot, peitteisyys sekä ilman terminen tasapainotila. (Työ- ja elinkeinoministeriö ym. 2010.) Kuvassa 9 näkyy Suomen tuulen nopeuksien (m/s) kuukausikeskiarvon vaihtelut mittausjaksolla 1999 - 2008.

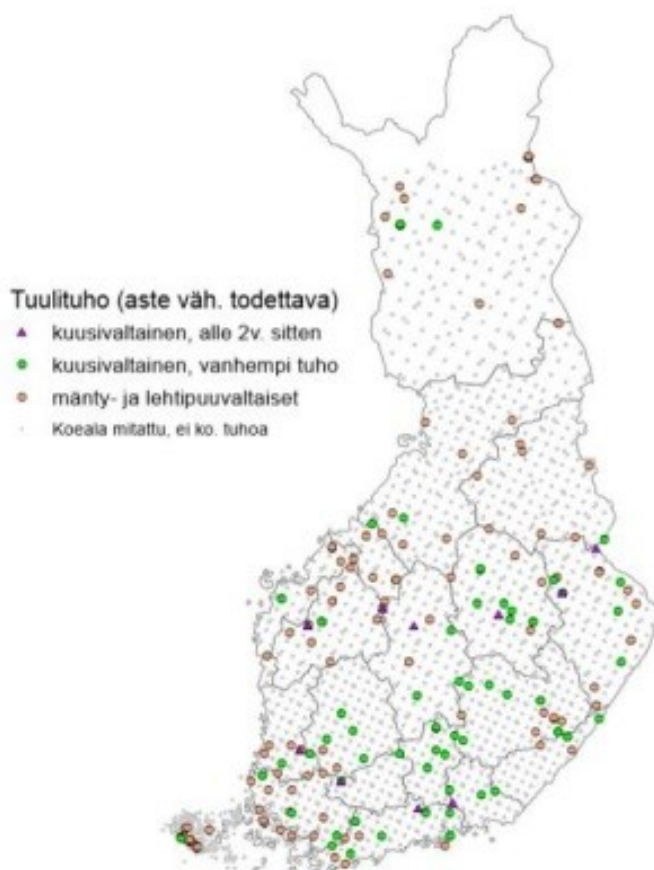


Kuva 9. Tuulen nopeuden kuukausikeskiarvon vaihtelut mittausjaksolla 1999 - 2008 (Työ- ja elinkeinoministeriö ym. 2010)

Tuulen nopeuden kuukausikeskiarvon vaihtelut on mitattu Kotkan, Hangon, Kuopion, Kemin ja Muonion Ilmatieteenlaitoksen sääasemilla. Tuulen nopeus heikkenee tultaessa maalle mereltä. Suomessa on tyypillistä, että ihmisen havaintokorkeudella tuulen nopeudet vaihtelevat selkeästi vuodenajoittain tuntu-reilla, rannikolla ja merialueilla. Tuulen kuukausittainen keskinopeus vaihtelee varsin vähän sisämaassa. Rannikolla maaston rosoisuuden muuttuminen vaikuttaa tuulen nopeuden suureen vaihteluun rajakerroksessa. (Työ- ja elinkei-noministeriö ym. 2010.) Rajakerros tarkoittaa ilmakehän osaa, joka on maan-pinnan kanssa vuorovaikutuksessa. Rajakerros aiheuttaa tuulelle turbulenssia ja kitkaa, sekä vaikuttaa lämpötilojen vaihteluun. (Ilmatieteen laitos 2018.)

Suomessa tuulituhot ovat yleisiä koko maassa (Äijälä ym. 2019). Kuvassa 10 esitetään tuulituhojen esiintyminen VMI12:ssa vuonna 2018.

VMI12 - Tuhoseuranta v. 2018



Kuva 10. VMI12 – Tuulituhojen esiintyminen (Nuorteva 2019)

Tuulituhoja esiintyi vähiten Pohjois-Suomessa vuonna 2018. Tuhoseuranassa oli mukana kaikki metsä- ja kitumaan keskipistekuviot, jonka jollain ositeella oli esiintynyt tuulituhoja. Kartassa näkyy myös mitatut koealat, joissa tuulituhoja ei esiintynyt. (Nuorteva 2019.)

Tuulen kaatamista puista voi aiheutua laajoja häiriöitä energiantoimitukselle ja vaurioita rakennuksille. Rautateille ja maanteille kaatuneet puut voivat haitata liikennettä. Tuulituhot aiheuttavat myös seurannaistuhoja, sillä tuhohyönteiset lisääntyvät erityisesti kaatuneissa ja katkenneissa tuoreissa rungoissa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2014.)

Myrskyt tarkoittavat matalapaineisiin liittyviä verrattain pitkäkestoisia ja laaja-alaisia voimakkaita tuulia (Ilmatieteenlaitos 2020b). Myrskytuuli puhaltaa, kun kymmenen minuutin keskituuli on vähintään 21 m/s (Ilmatieteenlaitos 2020a).

Sulan maan aikana tyypillinen laaja-alainen myrsky, joka tuulee lännen tai luoteen suuntaisesti ja voimakkaimmat puuskat ovat 25 m/s, aiheuttaa karkeasti noin 0,3 miljoonan kuution metsätuhot. Jos voimakkaimmat puuskat ovat 30 m/s, tuhot nousevat noin 1,9 miljoonaan kuution. 35 m/s puuskillla tuhot nousevat noin 8,7 miljoonaan kuution. (Valta ym. 2019.)

Kesäiset ukkosrajuilmat ja matalapainemyrskyt ovat merkittävimpiä metsätuhoja aiheuttavia sääilmiöitä Suomessa. Viime vuosien laajimmat metsätuhot aiheutti Tapani-myrsky joulukuussa 2011, jonka aikana tuhoutui noin 3 miljoonaa kuutiota puuta. Pory- ja Janika-myrskyt aiheuttivat yhteensä noin 7,3 miljoonan kuution tuhot marraskuussa 2001. Asta-, Veera-, Lahja- ja Sylvi-rajuilmat aiheuttivat noin 8,1 miljoonan kuution tuhot kesällä 2010. Vastaavanlaisia erittäin laajoja tuhoja aiheuttavia ukkosmyräköitä tapahtuu keskimäärin noin 10 - 15 vuoden välein. (Lehtonen ym. 2020.)

Myrskytuhojen oireita ovat puiden katkeaminen ja kaatuminen juurineen, oksien taipuminen, latvojen murtuminen ja juuristojen vaurioituminen. Lisäksi pystyyn jääviin puihin syntyy vaurioita, joiden korjaantuminen voi kestää pitkään. (Väkevä & Kankaanhuhta 2014.) Kuvassa 11 näkyy myrskytuho koivikossa.



Kuva 11. Myrskytuhoja Kuhmon Timoniemellä syksyllä 2020

Myrskytuhoja esiintyy metsikkökuvioiden ja aukeiden reunassa, ja tuulelle alttiilla korkeilla paikoilla. Merkittävimmät myrskytuhot tapahtuvat metsiköissä, jotka eivät jostain syystä kestä voimakkaita tuulia. Alttiimpia metsiä myrskytuhoille ovat harvennetut ja lannoitetut metsät sekä avohakkuualueiden reunametsät. Juuri käsitellyt reunametsiköt ovat erittäin alttiita myrskytuhoille, koska ne eivät ole sopeutuneet muuttuneisiin tuulioloihin. Myös sateen pehmittävät metsät ovat alttiita tuhoille, koska puiden juurten sitomiskyky heikentyy sateen vaikutuksesta. (Väkevä & Kankaanhuhta 2014.) Erityisen alttiita kohteita myrskytuhoille on siemenpuuasentoon hakatut kohteet ja ylitiehinä kasvaneet metsiköt heti harvennuksen jälkeen (Viiri 2019). Tuulituhoille alttiita alueita voi selvittää Luonnonvarakeskuksen tuulituhoriskikartan avulla (Äijälä ym. 2019).

Voimakkaimpien tuulten aiheuttamia laajoja tuhoja ei ole mahdollista estää metsätalouden keinoin. Tuulituhoja voidaan ennaltaehkäistä jossain määrin hyvällä metsäsuunnittelulla ja metsänhoidolla. Suositusten mukaan toteutetulla taimikonhoidolla ja harvennushakkuulla pystytään estämään puuston

riukuuntumista ja vahvistamaan puiden runkoa ja juuristoa kestävään voimakkaita tuulia. Myös uudistushakkuualojen oikeanlaisella rajauksella ja välttämällä puuston suuria korkeuseroja vierekkäisillä metsikkökuvioilla voidaan ehkäistä tuulituhoja. (Äijälä ym. 2019.)

Puuston pituuden lisääntyessä tuulituhoriski kasvaa. Kiertoajan lyhentämisellä ja liian voimakkaiden harvennusten välttämällä voidaan vähentää tuulituhoriskiä. Tuulituhoille alttiilla alueilla lannoitus kannattaa tehdä 2 - 3 vuoden kulluttua harvennuksesta, sillä puiden runko ja juuristo tarvitsevat aikaa vahvistukseen riittävästi sekä kestävään lisääntyvää tuulikuormaa. On suositeltavaa jättää uudistushakkuualueelle rajoittuvan tai tuulialttiille harvennettavan metsikön reunaan tuulenpuolelle lievemmin harvennettu, noin 10 - 20 metriä leveä kaistale. (Äijälä ym. 2019.) Hakkuut tulisi aloittaa kuvion itäreunasta, jos metsikkökuviot ovat itä- ja länsisuuntaisia (Väkevä ym. 2014).

Kaistalehakkuissa kannattaa sijoittaa kaistaleet kohtisuoraan vallitsevia tuulia vastaan. Siemenpuukuvion suunnittelussa kannattaa huomioida vallitsevien tuulten suunta sekä mahdollinen tuhoriski. On kannattavaa sijoittaa myös ajourat vallitsevien tuulien vastaisesti. Nuoret metsät kestävät tuulituhoja paremmin kuin vanhat metsät. Metsikön vanhetessa myös tuholaisen ja tautien riski kasvaa. (Viiri 2019.)

Tuulituhoille alttein puulaji on kuusi pinnallisen juuriston takia. Puhtaat kuusikot ovat alttiimpia tuulituhoille verrattuna sekametsiin. Kuusikot kasvavat usein hienojakoisilla, rehevillä tai märillä kasvupaikoilla, joissa puiden juuri-versosuhte on vähäinen, mikä lisää tuulituhoriskiä. Tuulituhojen riskiä voidaan vähentää mänty- ja koivusekoituksella kuusikoissa. (Viiri 2019.) Taulukossa 5 esitetään mekanistisen mallin mukaan arvioidut, vuosittaiset todennäköisyydet kriittisten tuulen nopeuksien aiheuttamille tuulituhoille hoidetuissa ja hoitamattomissa, 30 - 90 vuoden ikäisissä mänty-, kuusi-, ja koivumetsiköissä puuston reunaolosuhteissa Helsingissä.

Taulukko 5. Vuosittainen todennäköisyys tuulituhoille mekanistisen mallin mukaan (Peltola ym. 2011)

Table 6. Annual probability of critical wind speeds needed to cause wind damage (uprooting) of unmanaged and managed stands of Scots pine, Norway spruce and birch (age 30–90 years) at stand edge conditions (in southern Finland, Helsinki); total yield ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$); volume of removals (excl. bark) ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$); and mean annual growth ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ per year) are presented.

	Total yield	Volume	Volume removal	Mean Annual	Annual probability			SD
					Mean	Min.	Max.	
Scots pine								
Unmanaged	564	393	171	6.3	0.63	0.001	0.99	0.47
Managed	582	262	320	6.5	0.08	0.0	0.37	0.11
Norway spruce								
Unmanaged	479	359	120	5.3	0.28	0.001	0.99	0.41
Managed	552	251	301	6.1	0.66	0.0	0.99	0.46
Birch spp.								
Unmanaged	397	251	146	4.4	0.007	0.00	0.42	0.13
Managed	491	175	316	6.1	0.003	0.00	0.008	0.003

Note: Volume of removals equals self-thinned wood in unmanaged stands and thinning removals in thinned stands.

Hoitamattomalla männiköllä ja hoidetulla kuusikolla on suurin vuosittainen todennäköisyys altistua tuulituhoille. Hoitamattoman männikön suuri tuulituhoriski johtuu todennäköisesti puiden liiallisesta pituudesta verrattuna läpimitaan. Hoidetun kuusikon suuri tuhoriski johtuu ilmeisesti lisääntyvästä tuulikuormasta puuston tiheyden vähentyessä sekä liiallisesti pituudesta verrattuna läpimitaan. Hoitamaton ja hoidettu koivikko sekä hoidettu männikkö kestävät kriittisiä tuulen nopeuksia paremmin verrattuna muihin puulajeihin. (Peltola ym. 2011.)

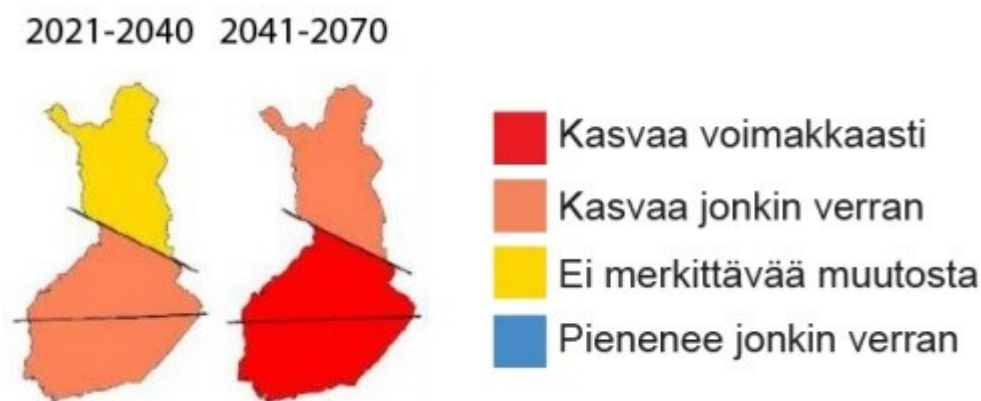
Tuulenkaatopuiden korjuulla ei ole vaikutusta myrskytuhojen jatkumiselle, mutta se on tarpeellista seuraustuhojen välttämiseksi (Väkevä ym. 2014). Laki metsätuhojen torjunnasta (1087/2013) velvoittaa, että metsätuhoalueelta tulee korjata vahingoittuneet ja tyviläpimitaltaan yli 10 cm kuuset 10 kuutiota hehtaarilla ylittävältä osalta säädettyyn määräaikaan mennessä. Vahingoittuneet ja kaarnoittuneet, tyviläpimitaltaan yli 10 cm mäntypuut tulee korjata 20 kuutiota hehtaarilla ylittävältä osalta säädettyyn määräaikaan mennessä.

4.1.2 Ilmastonmuutoksen vaikutus tuuli- ja myrskytuhoihin

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja voimakkuutta arvioitaessa käytetään Kansainvälisen ilmastopaneeli IPCC:n kokoamia ilmastoskenaarioita. Näiden RCP-skenaarioiden avulla arvioidaan kasvihuonekaasujen pitoisuuksien mahdollista tulevaa kehitystä. (Ilmatieteenlaitos 2015.)

RCP-skenaarioita on neljä erilaista. RCP2.6 on optimistisin skenaario, jossa oletetaan maailmanlaajuisten hiilidioksidipäästöjen kääntyvän pikaiseen laskuun 2020-luvulla ja päästöt painuisivat noltaan noin vuonna 2080. RCP4.5-skenaariossa päästöt nousevat aluksi vielä jonkin verran, kunnes ne kääntyvät laskuun vuosisadan puolivälissä, ja vuoden 2100 tienoilla ilmakehän hiilidioksidipitoisuus vakiintuisi. RCP6.0-skenaariossa päästöt pysyvät aluksi melko tasaisena, kunnes vuosisadan puolivälissä ne lähtevät selvään nousuun, ja vuosisadan loppupuolella ne kääntyisivät viimein laskuun. RCP8.5-skenaarion mukaan hiilidioksidipäästöt jatkavat nopeaa kasvuaan vielä useiden vuosikymmenten ajan ja vuosisadan lopussa ilmakehän hiilidioksidipitoisuus lähestyisi 1000 ppm:n tasoa. Nykyään ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noin 410 ppm. (Lehtonen ym. 2020.)

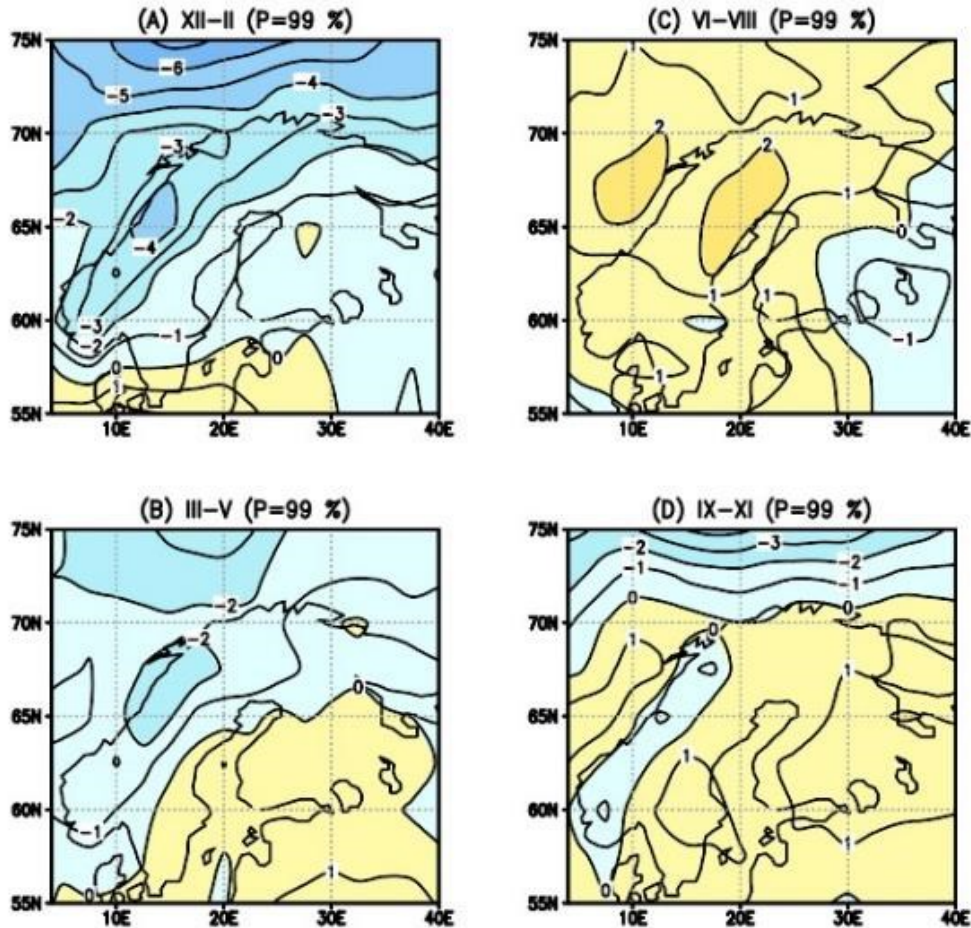
Tuuli on jatkossakin tärkein abiottinen tuhonaiheuttaja (Asikainen ym. 2019b). Kuvassa 12 esitetään ilmastonmuutoksen vaikutus tuulituhoriskiin RCP4.5-skenaarion toteutuessa.



Kuva 12. Ilmastonmuutoksen vaikutus tuulituhoriskeihin RCP4.5-skenaarion mukaan (Lehtonen ym. 2020)

RCP4.5-skenaariossa tuulituhoriski tulee kasvamaan jonkin verran Etelä-Suomessa, mutta Pohjois-Suomessa ei tapahdu merkittävää muutosta jaksolla 2021 - 2040. Tuulituhoriski tulee kasvamaan voimakkaasti Etelä-Suomessa ja jonkin verran Pohjois-Suomessa välillä 2041 - 2070. Vertailujakso on väliltä 1981 - 2010. (Lehtonen ym. 2020.)

Kovien tuulten voimakkuuksissa ei ole odotettavissa suuria muutoksia Suomen alueella (Ruosteenoja ym. 2019). Kuvassa 13 esitetään kovien tuulten voimakkuuksien ennustettuja muutoksia prosentteina Pohjois-Euroopassa.



Kuva 13. Kovien tuulten voimakkuuksien ennustetut muutokset Pohjois-Euroopassa RCP8.5-skenaariossa (Lehtonen ym. 2019)

Mallitulokset perustuvat RCP8.5-skenaarioon ja ajanjaksoon, jossa siirrytään jaksosta 1961 - 2005 jaksoon 2040 - 2069. A-kuva tarkoittaa talvea, B kevättä, C kesää ja D syksyä. Ainoastaan syksyllä on odotettavissa vähäistä myrskyjen voimistumista, mutta voimakkuuden muutos on tuolloinkin vain yhden prosentin luokkaa. Kovien tuulten voimakkuudet mallitulosten keskiarvon mukaan muuttuvat Suomessa vain 0 - 3 % verran, vaikka kyseessä on hyvin suurten kasvihuonepäästöjen oletama RCP8.5-skenaario. Arviot pohjautuvat geostrofisen tuulen voimakkuuksiin. Geostrofisen tuuli tarkoittaa paine-eron aiheuttamaa ilmvirtausta, joka puhaltaa ilmanpaineen samanarvokäyrien suuntaisesti sekä kuvaa keskimääräisesti todella hyvin tuuliolosuhteita muutaman kilometrin korkeudessa, jossa maanpinnan aiheuttamaa kitkan vaikutusta ei ole. (Lehtonen ym. 2019.)

Todellisuudessa myrskyjä esiintyy vuosien mittaan todella vaihtelevasti vallitsevien sääolojen mukaan ja erittäin voimakkaita myrskyjä tapahtuu vain harvoin. Myrskytuhoilla on satunnainen luonne, sillä suurimman osan pitkän aikavälin tuhoista voi syntyä vain muutamasta voimakkaasta, ellei jopa vain yhdestä myrskystä. Suomessa on mahdollista tapahtua vielä entistä voimakkaampia myrskyjä kuin mitä viime vuosina on tapahtunut, eikä sen tarvitse olla yhteydessä ilmaston muuttumiseen. (Lehtonen ym. 2019.) Esimerkiksi Ruotsissa vuonna 2005 Gudrun-myrsky aiheutti 75 miljoonan kuution metsätuhot, jonka tuhomäärä vastasi koko maan vuotuista hakkuumäärää. (Haanpää ym. 2007).

Vaikka myrskyjen voimakkuuksien ei ole ennakoitu kasvavan, talvien leudontuminen ja routa-ajan lyheneminen kasvattavat erityisesti talvimyrskyjen aiheuttamia myrskytuhoja. Talvet ovat siirtyneet noin 300 km pohjoiseen toteutuneen ilmaston lämpenemisen takia. Tuulituhojen suuruusluokat tulevat olemaan arviolta miljoonien, pahimmillaan kymmenien miljoonien kuutiometrin tuhoja. (Asikainen ym. 2019b.) Jos tuuli rikkoo puiden juuristoa, puiden kunto heikkenee ja ne voivat altistua myös sieni- ja hyönteistuhoilille. Myrskytuhojen takia kirjanpainajatuhojen odotetaan yleistyvän. (Viiri 2019.) Ilmaston lämpenemisen takia juurikäävän aiheuttamat tuhot lisääntyvät, mikä edelleen kasvattaa tuuli- ja lumituhojen riskejä (Honkaniemi ym. 2017).

Lännen ja luoteen puoleisten kovien geostrofisten tuulten arvioidaan yleistyvän jonkin verran. Vastaavasti idän puoleisten tuulten arvioidaan tulevan harvinaisimmiksi. Vuosisadan puolivälissä kovia lännenpuoleisia tuulia esiintyy 10-20 % enemmän kuin 1900-luvun lopulla. (Lehtonen ym. 2019.)

4.2 Metsäpalot

4.2.1 Yleiskuvaus

Metsäpalot ovat merkittävä osa luonnon kiertokulkua ja useiden lajien elinehto (Ryttäri 2020). Metsäpaloja syttyy Suomessa noin pari tuhatta vuosittain, ja palaneen alueen koko on keskimäärin noin puoli hehtaaria (Suomen metsäkeskus 2019). Metsää palaa keskimäärin 300 - 800 hehtaaria vuodessa. Vuosittain suurimmat metsäpalot ovat 50 - 100 hehtaarin kokoisia. (Remes 2016.)

Viime vuosikymmeninä metsäpalot eivät ole aiheuttaneet merkittävän laajoja vahinkoja (Venäläinen ym. 2020).

Metsäpalot luokitellaan sen perusteella, mitä paloaineskerrosta ne pääsääntöisesti kuluttavat. Metsäpalotyyppejä ovat maapalo, pintapalo ja latvapalo. Palotyytit esiintyvät yleensä samassa palossa erilaisissa olosuhteissa. (Lindberg ym. 2011.)

Maapalolla tarkoitetaan tulen etenemistä pohja- ja maakerroksessa. Palo etenee orgaanisen aineen kuten humuksen tai turpeen kerrosta polttaen. (Lindberg ym. 2011.) Kuvassa 14 näkyy maapalon eteneminen.



Kuva 14. Maapalo (Lindberg ym. 2011)

Kuvasta näkee, että palo etenee pohja- ja maakerroksessa. Tyypillinen maapalo on hidasta ja kytevää hehkupalamista. Maapaloo on vaikea havaita, ja olla jopa näkymättömissä, joten sen sammuttaminen on hankalaa perinteisin menetelmin. Maapalolle tyypillistä on paloa säilyttävä ominaisuus eli palo voi myöhemmin suotuissa olosuhteissa levitä pintapaloksi ja latvapaloksi. (Lindberg ym. 2011.)

Pintapalolla tarkoitetaan palon etenemistä polttaen kenttä- ja pohjakerroksien aineksia. Palon etenemistä on yleensä helppo ennustaa. Pintapalon sammutus on maapaloo selkeämpää. Metsäpalot alkavat usein pintapaloina, koska

metsän pintakerroksen ainekset ovat syttymisherkimpiä paloaineksia. (Lindberg ym. 2011.) Kuvassa 15 näkyy pintapalo metsässä.



Kuva 15. Pintapalo metsässä (Suomen metsäkeskus 2019)

Latvapalolla tarkoitetaan palon etenemistä puiden latvustoon. Latvapaloon vaaditaan paloainesten pystysuuntaista jatkuvuutta, voimakasta tuulta ja kovaa pintapalon voimakkuutta. Palo etenee pensaskerroksen, alikasvoksen ja kuivien alaoksien kautta latvukseen ja sieltä puusta toiseen. (Lindberg ym. 2011.) Kuvassa 16 näkyy latvapalo.



Kuva 16. Latvapalo (Lindberg ym. 2011)

Latvapaloon vaaditaan tarpeeksi tiheää latvuserrosta paloaineksen jatkuvuuden kannalta, sekä kovaa tuulta jatkuvuuden ylläpitämiseksi. Palon syntyminen vaatii latvuksen riittävän kuumentumisen. (Lindberg ym. 2011.) Palo on korkeaintensiteettinen ja melkein aina vaarallinen. Metsäpalotorjunnan vaikeimpiin tehtäviin kuuluu latvapalon ennustaminen ja estäminen. (Remes 2016.) Latvapalojen riskikohteita ovat tiheät ja peitteiset metsät, joissa puiden latvukset ovat täynnä palavaa ainesta (Suomen metsäkeskus 2019).

Latvapalo voidaan luokitella tarkemmin soihtupaloksi eli passiiviseksi latvapaloksi, aktiiviseksi latvapaloksi tai itsenäiseksi latvapaloksi. Soihtupalossa tuli etenee latvuksiin polttaen yksittäisiä puita tai puuryhmiä, mutta palo ei kykene leviämään laajemmin latvustossa. Palo ei kykene leviämään laajemmin latvustossa latvusrakenteen tai vähäisen tuulen takia. (Lindberg ym. 2011.) Kuvassa 17 näkyy soihtupallo.



Kuva 17. Soihtupalo (Lindberg ym. 2011)

Latvapalo on levinnyt yksittäiseen puuhun, joten kyseessä on soihtupalo. Aktiivinen latvapalo tarkoittaa palon etenemistä samanaikaisesti koko metsikössä. Itsenäisessä latvapalossa palo etenee erillään tai nopeammin latvuserroksessa. Latvapalosta siirtyy palavaa ainesta ilmavirtausten mukana, jolloin palo voi mahdollisesti levitä varsinaisen paloalueen ulkopuolelle. Tällöin kyseessä on heitepalo. (Lindberg ym. 2011).

Metsäpalot aiheuttavat tuhoja puustolle kahdella eri tavalla. Palo kärventää tielleen osuvia puita ja palamisesta vapautuva lämpö aiheuttaa kauimpana olevien puiden ja taimien vioittumista. Pienet taimet ovat herkimpiä korkeille lämpötiloille, koska niillä ei ole vielä tarpeeksi vahvaa eristävää kaarnaa. Kuu-sentaimet alkavat oireilemaan lämpötilan ylittäessä 48 °C. Männyntaimet alkavat kuolemaan lämpötilan ylittäessä 48 °C. (Kankaanhuhta & Väkevä 2013.)

Osa puista kuolee heti metsäpalon seurauksena ja osa jatkaa kasvamistaan vaurioituneena, kunnes ne kuolevat. Männyt kestävät metsäpaloja paremmin kuin kuuset. Yleensä vanhemmat paksukaarnaiset männyt selviävät palosta lähes vahingoittumana. Ohutkaarnaiset kuuset, joiden oksat ulottuvat maahan, palavat helposti ja kuolevat. (Ryttäri 2020.)

Palon seurauksena alueelle syntyy paljon erilaista lahopuuta, metsän rakenne monipuolistuu ja pohjakaasvillisuus uudistuu. Palanut ja hiiltynyt puu on hyvä asia metsien monimuotoisuuden kannalta. Monet lajit tarvitsevat sitä. Männyin uudistumiselle syntyy otolliset olosuhteet metsäpalon paljastaessa laaja-alaisesti kivennäismaata. Männyin uudistumista häiritsee metsäpalojen tehostunut torjunta, jonka takia luontaisetkin palot sammutetaan nopeasti, jolloin niiden koko ja vaikutukset jäävät vähäisiksi. Metsäpalojen vähentyessä kuuset valtaavat kasvupaikkaa. (Ryttäri 2020.)

Kasvupaikkatyypeistä kuivahkojen, kuivien ja karukkokankaiden eri kehitysvaiheen metsillä on suurin paloherkkyys. Metsikön koostumus ja puulaji vaikuttavat paloherkyyteen muilla kasvupaikoilla. Paloriskiä lisää myös runsas hakkuutähteen määrä. Heinittyneillä aloilla paloriski on aina suurempi kuin vähäheinittyneillä alueilla. (Remes 2016.) Kuivan kasvupaikan alikasvos tai varvikko syttyy herkästi tuleen (Suomen metsäkeskus 2019).

Ihmisten varomaton avotulen käsittely on yleisin syttymissy maastopaloille. Metsäpalo- ja ruohikkopalovaroituksen aikaan on noudatettava erityistä varovaisuutta metsätöissä. Paloja sytyttäviä kipinöitä voi syntyä raivaussahan tai kirveen osumisesta kiveen. Kipinöitä voi syntyä myös koneellisissa metsätöissä, kaivurin kauhan tai koneiden ketjujen ja telojen käytössä. (Remes 2016.) Metsäkoneiden tuottamiin kipinöihin voidaan varautua kohdevalinnalla, metsäkoneen telojen valinnalla sekä oikealla sammutuskalustolla (Äijälä ym. 2019). Paloja syttyy myös salamoiden ja sähkölinjoille kaatuneiden puiden sytyttäminä (Ryttäri 2020).

Peltojen kulotukset ja niistä alkavat metsä- ja maastopalot esiintyvät yleensä maalis- ja huhtikuussa. Paloja tapahtuu myös yleensä elo- ja syyskuussa, jolloin kuiva maasto voi olla todella paloherkkää. Vähäsateiset kesät lisäävät metsä- ja maastopalojen riskiä Suomessa. (Metsä- ja maastopalot s.a.)

Metsänomistajien on tarpeellista ottaa huomioon metsäpalon syttymisen riskit metsänhoitotöissä ja luonnossa liikkuessaan. Metsäpalo voi syttyä pienestäkin kipinästä metsäpalovaroituksen, pitkän hellejakson ja voimakkaan tuulen aikaan. (Stora Enso Metsä s.a.) Kuiva maasto ja runsas palava puusto levittävät metsäpaloa nopeasti (Suomen metsäkeskus 2019).

Metsäpalojen torjunnassa on tärkeää sujuva yhteistyö eri viranomaisten ja toimijoiden välillä. Palojen leviämistä ehkäisee useat ennalta mietityt toimenpiteet. Palot havaitaan yleensä nopeasti satelliittiseurannan ja tähystyslentojen avulla, ja sammutuskalusto ehtii nopeasti paikalle tiheää metsäautotieverkostoa hyödyntäen. (Maa- ja metsätalousministeriö & Sisäministeriö 2019.)

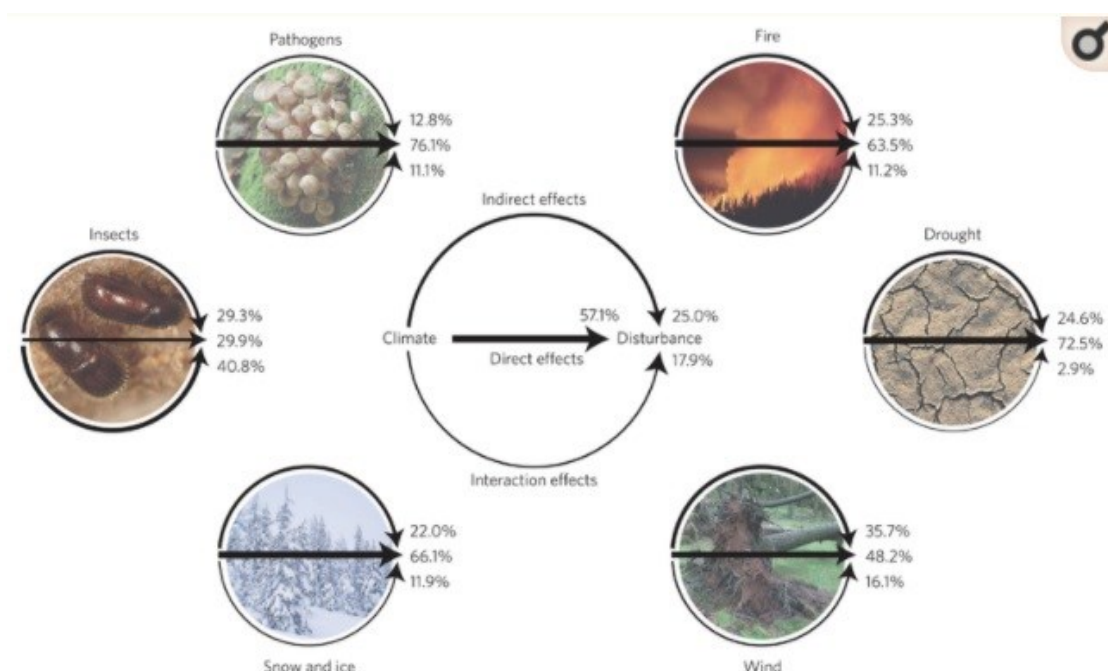
Metsäpalokarttojen avulla voi selvittää, missä palot todennäköisimmin syttyvät sekä kuinka palot uhkaavat levitä maastossa. Kartoista on etua palokunnalle, jos paikallistuntemus ei ole riittävää. Kartoilla näkyy muun muassa metsäautotiet, joiden kautta sammutuskalusto pääsee perille. (Suomen metsäkeskus 2019.)

Paloriskien hallinnan tärkeänä osana on metsien hyvä hoito. Ilmatieteen laitos arvioi säännöllisesti säähavaintoihin ja laskentamalliin perustuvalla metsäpaloindeksillä metsämaaston paloriskiä sekä antaa tarvittaessa metsä- tai ruohikkopalovaroituksen. Metsäpalovaroituksen aikaan Sisäministeriö ja pelastustoimi jakavat tietoa oikeista toimintatavoista sekä asettavat tarvittaessa avotulentekokiellon. Metsäpalon sattuessa pelastuslaitokset pyrkivät sammuttamaan ne pikaisesti, tarpeen mukaan yhteistyössä Metsäkeskuksen valmiusryhmien, sopimuspalokuntien sekä muiden viranomaisten ja vapaaehtoisten kanssa. (Maa- ja metsätalousministeriö & Sisäministeriö 2019.)

Kansainvälinen yhteistyö on lisääntynyt metsäpaloasioissa. Asioita käsitellään pohjoismaissa, Euroopan unionissa ja kansainvälisillä yhteistyöfoorumeilla. Pohjoismaiden maa- ja metsätalousministeriöt sopivat syksyllä 2018 yhteispohjoismaisen yhteistyön tiivistämisestä, kuinka kuivuuden ja metsäpalojen aiheuttamia ongelmia vähennetään. Yhteistyön tuloksena valmistuu raportti, joka kuvaa metsäpalotilannetta sekä keinoja hallita paloja eri maissa. (Maa- ja metsätalousministeriö & Sisäministeriö 2019.)

4.2.2 Ilmastonmuutoksen vaikutus metsäpaloihin

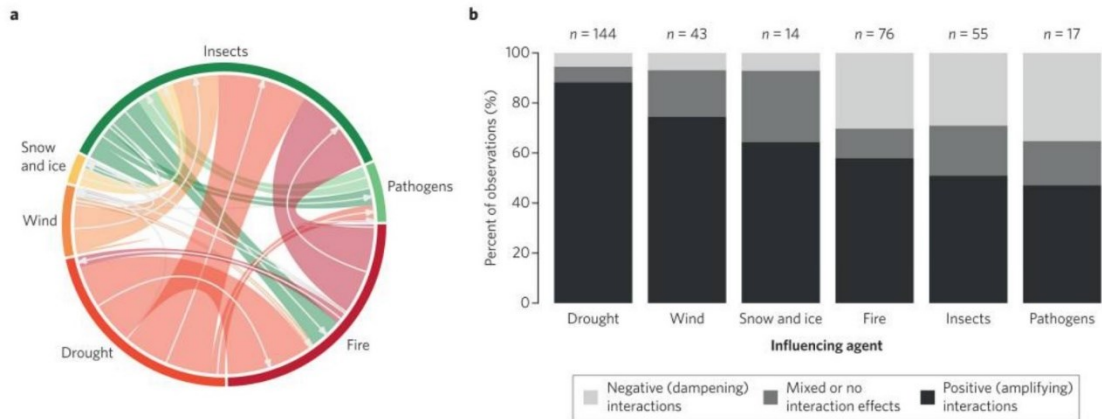
Metsäpaloja on aina tapahtunut ja ne ovat merkittävä osa luonnon normaalia kiertokulkua, mutta palojen luonne on muuttunut (Lämpenevä ilmasto... 2018). Ilmastonmuutoksen myötä lämpimämmät ja kuivemmat olosuhteet aiheuttavat lisää metsäpaloja. Laaja-alainen vuorovaikutus tuhoniheuttajien välillä vahvistaa todennäköisesti häiriöitä. Muutokset häiriöissä ovat todennäköisesti voimakkaimpia havumetsissä ja boreaalisisissa biomeissa. (Seidl ym. 2017.) Kuvassa 18 esitetään ilmastonmuutoksen suorat, epäsuorat ja vuorovaikutteiset vaikutukset tuhoniheuttajiin tarkastetun kirjallisuuden mukaan.



Kuva 18. Ilmastonmuutoksen suorat, epäsuorat ja vuorovaikutteiset vaikutukset metsätuhoihin (Seidl ym. 2017)

Kuvien vaakasuora nuoli kuvaa ilmastonmuutoksen suoraa vaikutusta tuhoniheuttajiin. Kuvien alhaalta kiertävä nuoli kertoo vuorovaikutteisen vaikutuksen tuhoihin ja ylhäältä kiertävä nuoli epäsuoran vaikutuksen. Suorat vaikutukset viittaavat ilmaston välittömiin vaikutuksiin tuhoniheuttajiin. Epäsuoria vaikutuksia tulee kasvillisuuden ja muiden ekosysteemiprosessien kautta. Vuorovaikutteisessa vaikutuksessa tuhoniheuttajaan vaikuttavat muut tuhoniheuttajat. Mitä paksumpi nuoli, sitä korkeampi prosenttiosuus. Ilmastonmuutoksen suora vaikutus tulipaloihin on 63,5 %, epäsuora 25,3 % ja vuorovaikutteinen 11,2 %. Ilmastonmuutoksen suora vaikutus kuivuuteen on 72,5

%, epäsuora 24,6 % ja vuorovaikutteinen 2,9 %. Jokaisen tuhoniheuttajan nuolen paksuus ja prosenttiosuus ilmaisee vastaavan vaikutuksen suhteellisen merkityksen, joka on ilmaistu sitä tukevasta havaintojen lukumäärästä analysoidun kirjallisuuden perusteella. (Seidl ym. 2017.) Kuvassa 19 esitetään tuhoniheuttajien vuorovaikutteisuuden jakautumista.

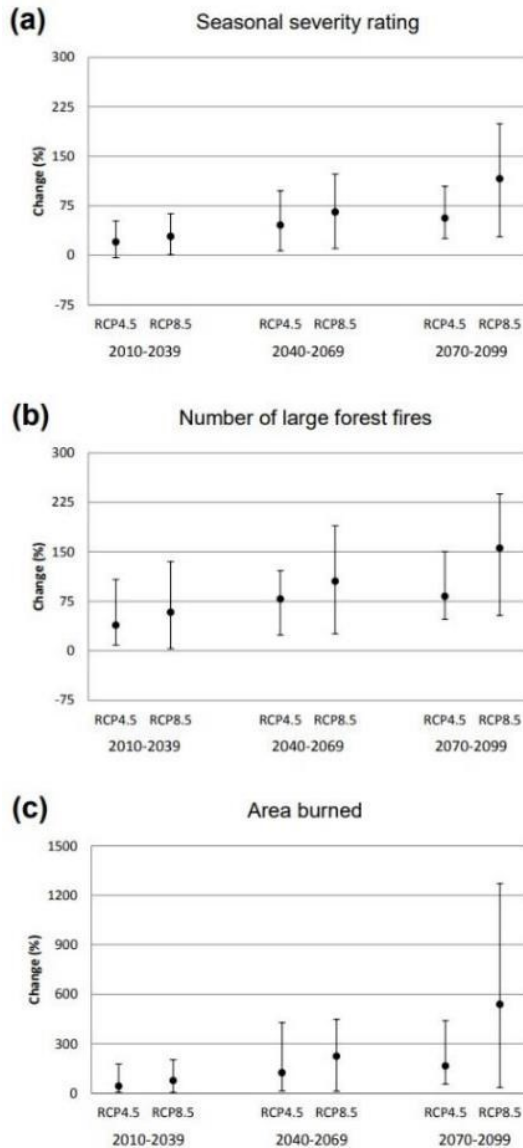


Kuva 19. Tuhoniheuttajien vuorovaikutteisuus (Seidl ym. 2017)

Ulomman ympyrän (a) sektorin koko viittaa vuorovaikutteisuuden jakautumiseen tuhoniheuttajien välille. Ympyrän keskustan läpi kulkevat virtaukset kuvaavat yksittäisten tuhoniheuttajien välisen vuorovaikutteisuuden suhteellista merkitystä. Ympyrän tiedot perustuvat vastaavasta vuorovaikutuksesta raportoitujen havaintojen lukumäärään. Nuolet osoittavat, mihin tuhoniheuttajaan vuorovaikutusta syntyy. Pylväskaavio (b) kuvaa tuhoniheuttajien vuorovaikutteisuuden määrää, joka perustuu havaintojen lukumäärään. Tulen positiivisen eli voimistavan vuorovaikutteisuuden määrä on noin 60 %. Kuivuuden voimistavaa vuorovaikutteisuutta on melkein 90 %. (Seidl ym. 2017.)

Metsäpalopotentiali tulee kasvamaan vuosisadan loppuun mennessä lisääntyvän höyrystymisen takia. Metsäpalohälytyspäivien vuotuisen määrän odotetaan kasvavan Etelä-Suomessa 96 - 160 päivään vuosisadan loppuun mennessä, verrattuna nykyiseen 60 - 100 päivään. Vastaavasti Pohjois-Suomessa arvioitu kasvu on 30 päivästä 36 päivään. Koko maassa vuotuisten metsäpalojen odotetaan lisääntyvän noin 20 % vuosisadan loppuun mennessä verrattuna nykypäivään. Suurin tulipalojen lisääntyminen tuhatta kilometriä kohden tulee tapahtumaan Suomen eteläisimmässä osassa, jonne on odotettavissa vuosittain 6 - 9 tulipaloa 1000 km² kohden, mikä vastaa 24 - 29 % kasvua verrattuna nykypäivän frekvenssiin. (Kilpeläinen ym. 2010.)

Ilmastonmuutoksella on vaikutuksia laajojen metsäpalojen määrään boreaalisissa metsissä (Lehtonen ym. 2016b). Kuvassa 20 esitetään kausittainen metsäpaloaara, laajojen metsäpalojen määrä ja paloalueen koko Suomessa RCP4.5 ja RCP8.5-ilmastoskenaarioiden mukaan.



Kuva 20. Kausittainen metsäpaloaara, laajojen metsäpalojen määrä ja paloalueen koko Suomessa RCP4.5 ja RCP8.5-ilmastoskenaarioiden mukaan (Lehtonen ym. 2016b)

A-kuvio kertoo kausittaisen metsäpaloaaran ennustettua keskimääräistä muutosta huhti-lokakuun välillä koko Suomessa. B-kuvio kertoo ennustettujen laajojen metsäpalojen määrän ja C-kuvio paloalueen laajuuden. Vertailujakso on väliltä 1980 - 2009. Pisteet osoittavat monimallin keskimääräisen muutoksen ja viikset ulottuvat maksimi- ja minimiulokkeisiin. RCP8.5-skenaariion mukaan kausittaisen metsäpaloaaran valtakunnallisen monimallikeskiarvon

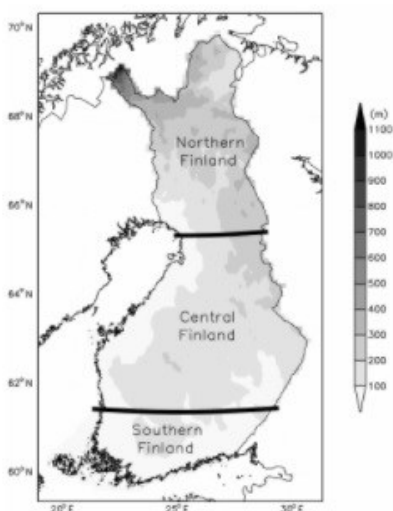
muutoksen ennustetaan ylittävän 100 % kaudella 2070 - 2099. Eri malliprojektoiden joukossa kasvu vaihtelee kuitenkin välillä 28 - 200 %. Laajojen metsäpalojen määrän ennustettu muutos on hiukan suurempaa verrattuna kausittaiseen metsäpaloaaraan. Siirtyessä jaksosta 1980 - 2009 jaksoon 2070 - 2099 laajojen metsäpalojen määrän arvioidaan kasvavan 54 - 238 % RCP8.5-skenaariossa. Paloalueen ennusteissa on valtavat vaihtelut eri mallien ennusteiden välillä. Alueellisesti metsäpaloaaran ennustetaan kasvavan melko samanlaisesti koko Suomessa. (Lehtonen ym. 2016b.)

4.3 Lumituhot

4.3.1 Yleiskuvaus

Lumituhot ovat Suomessa toiseksi suurin abiottinen metsätuhojen aiheuttaja tuulituhojen jälkeen (Venäläinen ym. 2020). Lumituhojen syntyminen edellyttää märän ja tiiviin lumen sekä alijäähtyneen veden jäätyneen puiden latvuksiin. Puiden oksat murtuvat, kun jäätyneitä lumimassaa on kertynyt tarpeeksi. (Kankaanhuhta & Väkevä 2005.) Jos lumitaakka muodostuu lyhyessä ajassa alijäähtyneestä vedestä tai rännästä, puut ovat erittäin tuhoalttiita. Tykky kehittyy yleensä pidemmän ajan kuluessa kovasta jäädästä, huurteesta sekä lumesta. Tykyn kertymiseen vaikuttaa lämpimien ja tuulisten suojajaksojen määrä talvella. (Jalkanen & Repo 2016.)

Lumi- ja tykkytuhoja voi esiintyä missä päin Suomea tahansa (Jalkanen & Repo 2016). Kuvassa 21 esitetään Suomen maaston korkeus merenpinnasta.



Kuva 21. Suomen maaston korkeus merenpinnasta (Lehtonen ym. 2016a)

Lumituhot ovat yleisimpiä Pohjois-Suomen korkeilla, yli 250 metriä merenpinnasta sijaitsevilla alueilla. Etelä-Suomessa tuhoja esiintyy Pohjois-Karjalan vaara-alueilla, etelärannikolla sekä Suomenselän alueella. (Kankaanhuhta & Väkevä 2005.) Lumituhoja tapahtuu yleensä myös vedenjakaja-alueilla ja mäkisillä seuduilla (Äijälä ym. 2019).

Tykkyä ei esiinny joka talvena. Pohjois-Suomi ja Pohjois-Karjalan vaara-alueet ovat yleisimpiä tykkyalueita. Alemmilla maastonkorkeuksilta alkutalven tykkykertymä sulaa todella helposti. Tykkyä kertyy pidempään yli 300 metrin korkeudella merenpinnasta, koska siellä ilma lämpenee hitaammin. Pohjoisessa maaston korkeus ja paikan sijainnin suhde Perämereen vaikuttavat oleellisesti tykyn kertymiseen puihin. Perämerestä vapautuva kosteus jäähtyy nolla-asteiseksi mantereeseen päällä ja osuessaan puihin tarttuu niihin. (Jalkanen & Repo 2016.)

Lumi ja tykky pystyvät vaurioittamaan kaikkia puulajeja (Jalkanen & Repo 2016). Kuvassa 22 näkyy tykyn aiheuttamia tuhoja.



Kuva 22. Tykyn painamia koivuja (Jalkanen & Repo 2016)

Kuvasta näkee, että nuoret koivut ovat painautuneet tykyn seurauksena. Ensiharvennusikäiset ja sitä nuoremmat koivut oikaisevat yleensä runkonsa seu-

raavan kesän aikana (Riikilä 2020). Tykkytuhojen synnyn kannalta on oleellista, millä tavalla taakka poistuu puiden päältä. Jos helmi- ja maaliskuun pakkasjaksoa seuraa lämmin ja tyyni sää, se aiheuttaa jo valmiiksi raskaan tykkylumen kosteuden voimakasta nousemista, mikä nostaa merkittävästi tuhoriskiä. (Jalkanen & Repo 2016.)

Lumituhot aiheuttavat puille latvojen ja oksien katkeamista sekä runkojen murtumista. Lumen paino taivuttaa joitain lehtipuita siten, että runkoihin jää pysyviä ja eriasteisia mutkia. Runsaslumisilla alueilla kuusten rungoissa oksan tyveen voi muodostua kyhmyjä, jotka syntyvät lumikuorman rasituksen ja vioituksien kautta. Lumi aiheuttaa vanhemmille puille latvojen murtumista sekä rungon tai oksien katkeamista. Nuoret ja ohutrunkoiset puut voivat painautua lumikuorman alle. (Kankaanhuhta & Väkevä 2005.) Puiden kaatuminen juuriin tulee yleistymään roudattomien talvien myötä (Jalkanen & Repo 2016).

Lumituhot ovat yleensä hyvin paikallisia. Kaatuneet puut voivat häiritä paikallista energiahuoltoa vahingoittamalla sähkölinjoja. Lisäksi kaatuneista puista voi aiheutua vahinkoja rakennuksille ja häiriöitä liikenteelle. (Maa- ja metsätalousministeriö 2014.)

Lumituhot sijaitsevat yleensä metsikkökuvioiden sisällä, kun taas myrskytuhot sijoittuvat kuvioden reunaan. Alttiimpia metsiköitä lumituhoille ovat pitkään ylitihenä kasvaneet, vasta harvennetut männiköt. Lumituhoja voi tapahtua myös keväällä taimikoissa, hangen painumisen aikaan. (Kankaanhuhta & Väkevä 2005.) Myös riukuvaiheen koivikoissa esiintyy runsaasti lumituhoja (Riikilä 2020).

Hiljattain harvennetut ja lannoitetut metsät ovat alttiita lumituhoille (Äijälä ym. 2019). Hiljattain lannoitetun metsän lumituhoriski on suuri, koska latvus on lähtenyt kasvamaan voimakkaasti, mutta juuristo ei ole vielä sopeutunut tilanteeseen (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Metsien lannoitusta tulisi välttää yli 200 metriä merenpinnan yläpuolella sijaitsevilla lumituhoualueilla (Venäläinen ym. 2020).

Lumituhoja voidaan ehkäistä tekemällä harvennushakkuut ja taimikonhoitotyöt ajoissa, jolloin latvukset eivät pääse riukuuntumaan ja puiden rungot vahvistuvat. Lumikuorma taivuttaa helposti riukuuntuneita latvuksia. (Suomen metsäkeskus 2016b.) Puiden latvukset levittäytyvät tasaisesti ajoissa tehtyjen harvennusten avulla (Riikilä 2020). Lumituhoille alttiilla alueilla tulisi harventaa etenkin männiköt usein ja lievästi. Mäntyä ei ole suositeltavaa viljellä lumituhoalueille. Tykkytuhoriski on merkittävä, jos latvukset ovat supistuneet pieneksi. (Jalkanen & Repo 2016.)

Riukuuntuneita metsiä ei tulisi harventaa liian voimakkaasti, sillä liian tiheässä kasvaneiden puiden rungot ovat ohuita ja lunta keräävät latvustupsut ovat korkealla. Harvennuksessa on suositeltavaa poistaa vain kolmannes puustosta. Jos metsästä harvennetaan yli 40 % puustosta, lumituhoriski nousee merkittävästi. (Riikilä 2020.)

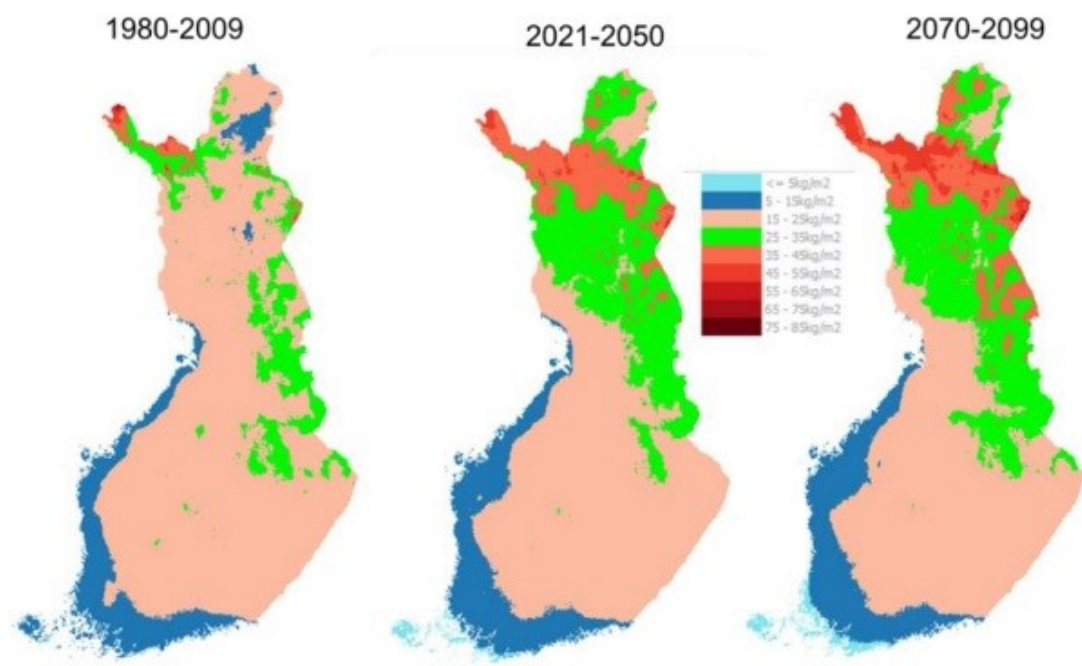
Kuusi on kestävämpi puulaji lumen ja tykyn kuormalle kuin mänty. Tykkylumi kertyy kuuselle koko puun pituudelle. Taimikoissa tykky suorastaan tukee kuusta. Yleensä kuuselta katkeaa latva, jolloin puu voi jatkaa kehitystään. (Jalkanen & Repo 2016.) Männyn tuhoalttius johtuu korkealla olevasta latvuksesta ja siihen tarttuvasta lumikuormasta (Riikilä 2020). Lumikuorma kertyy paksurunkoisen männyn latvukseen ja kuorman kasvaessa runko murtuu poikki. Kova pakkanen pahentaa murtumisriskiä. (Jalkanen & Repo 2016.)

Uudistettavan puulajin valinnalla voidaan vaikuttaa lumituhoriskeihin tuhoalttiilla alueilla. Itä- ja Pohjois-Suomen lumituhoriskialueilla voisi suosia kuusta myös melko karuilla kasvupaikoilla. Lisäksi sekapuustoisuus, jatkuva kasvatus sekä männyn ja kuusen vuorottainen istutus on suositeltavaa tuhoriskialueilla. (Äijälä ym. 2019.)

Metsätuholakia sovelletaan lumituhoihin. Jos lumenmurtoja (tyviläpimitta yli 10 cm) on männikössä yli 20 kuutiometriä hehtaarilla ja kuusikossa yli 10 kuutiometriä hehtaarilla, niiden ylittävä osa tulee poistaa metsästä määräaikaan mennessä. (Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013.)

4.3.2 Ilmastonmuutoksen vaikutus lumituhoihin

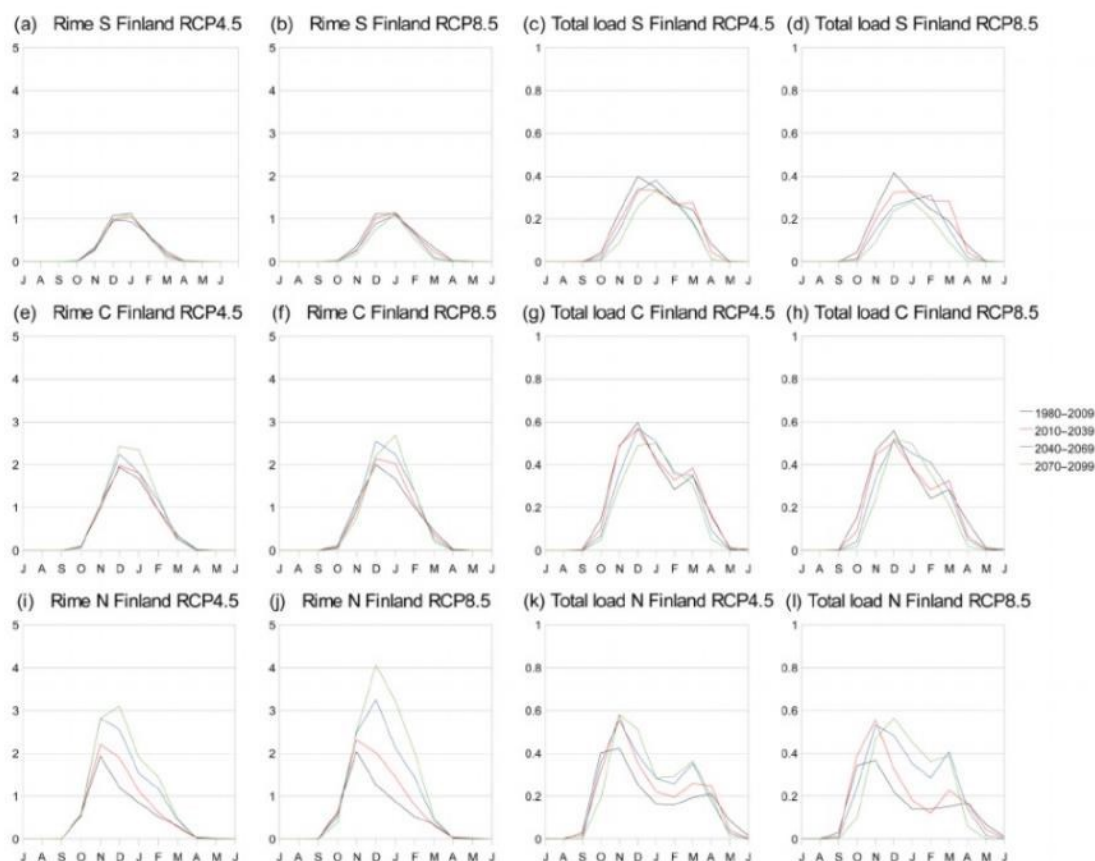
Ilmaston lämmetessä luminen vuodenaika lyhenee, lumipeite jää ohuemmaksi, sekä entistä isompi osa talven sateista tulee vetenä ja pienempi osa lumena. Myös suojasääät yleistyvät, mikä sulattaa lunta. Runsaslumisia talvia tulee esiintymään jatkossakin, mutta ajan myötä ne tulevat vähentymään. (Ilmasto-opas s.a.) Kuvassa 23 esitetään talven suurimmat keskimääräiset lumikuormat kuuden ilmastomallin keskiarvona, RCP4.5-skenaarion toteutuessa.



Kuva 23. Keskimääräinen talven suurin lumikuorma RCP4.5-skenaarion mukaan (Asikainen ym. 2019b)

Suurimmat lumikuormat ja niiden aiheuttamien lumituhojen todennäköisyys tulee kasvamaan etenkin Itä- ja Pohjois-Suomessa. Tarkasteltavat aikavälit ovat 1980 - 2009, 2021 - 2050 ja 2070 - 2099. (Asikainen ym. 2019b.)

Ilmaston lämmetessä vuotuisen lumen enimmäiskuorman arvioidaan nousevan Itä- ja Pohjois-Suomessa, mutta vähenevän maan etelä- ja länsiosissa (Lehtonen ym. 2016a). Kuvassa 24 näkyy vuosittaiset riskipäivät raskaalle kuura- ja lumikuormalle kuukausittain, RCP4.5 ja RCP8.5-skenaarioiden mukaan.



Kuva 24. Vuosittaiset riskipäivät raskaalle kuura- ja lumikuormalle kuukausittain RCP4.5- ja RCP8.5-skenaarioiden mukaan (Lehtonen ym. 2016a)

Vuosittaiset riskipäivät raskaalle kuura- ja lumikuormalle kuukausittain arvioidaan vähenevän alku- ja lopputalvena. Keskitalven kuukausina riskipäivien odotetaan pysyvän samana Etelä-Suomessa, kasvavan hieman Keski-Suomessa ja kasvavan huomattavasti Pohjois-Suomessa. Alkutilvi olisi kuitenkin vuoden todennäköisin aika kovalla kuuralle ja lumen kertymiselle. Pohjois-Suomessa todennäköisin kuukausi kuuralle arvioidaan olevan jatkossa joulukuu marraskuun sijaan. Selkein muutos kuurakuorman riskipäiville näkyy Pohjois-Suomen RCP8.5-skenaariossa, jossa riskipäivien oletetaan kasvavan selkeästi ajanjaksosta toiseen siirryttäessä. Yläriivi kuvaa Etelä-Suomea, keskiriivi Keski-Suomea ja alariivi Pohjois-Suomea. Tarkasteltavat ajanjaksot ovat 1980 - 2009 (musta), 2010 - 2039 (punainen), 2040 - 2069 (sininen) ja 2070 - 2099 (vihreä). (Lehtonen ym. 2016a.)

5 METSÄNHOIDOLLA VARAUTUMINEN ILMASTONMUUTOKSEN AIHEUTTAMIIN TUHOIHIN

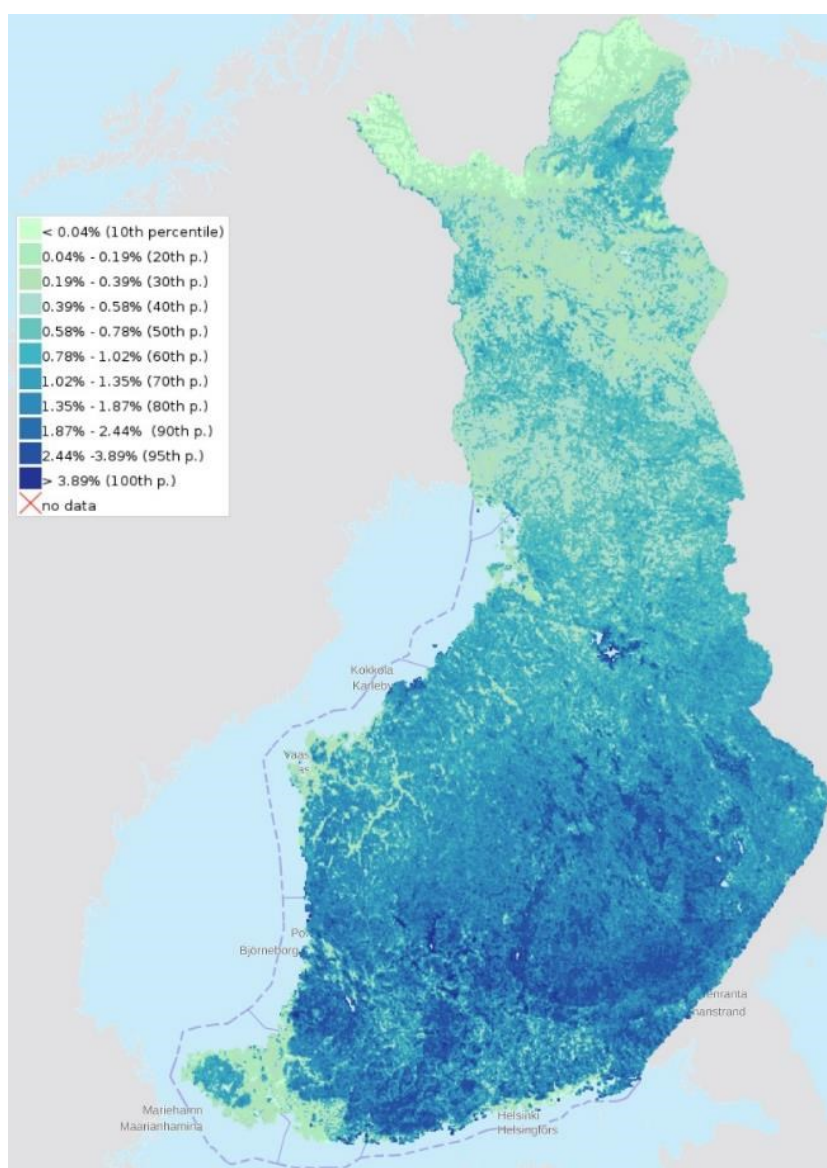
5.1 Metsänhoidon ja metsäsuunnittelun merkitys

Metsänhoidolla pystytään parantamaan metsien kykyä sopeutua ilmastonmuutokseen. Puuston kasvua ja terveyttä edistävä aktiivinen metsänhoito sekä monimuotoisuuden ylläpitäminen ovat tärkeitä ominaisuuksia vahvistettaessa metsien kykyä kestää ja ehkäistä tuhoja. (Äijälä ym. 2019.) Metsänhoidolla ei pystytä estämään väistämättä tapahtuvia muutoksia, mutta metsänhoidolla voidaan auttaa metsiä mukautumaan tuleviin muutoksiin. Metsänhoidolla luodaan mahdollisuuksia hyödyntää ilmastonmuutoksen mukanaan tuomia mahdollisuuksia, sekä samalla varautua ilmastonmuutoksen mukanaan tuomiin riskeihin. (Peltola & Kellomäki 2005.)

Metsänomistajille paras keino varautua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin on aktiivinen ja suunnitelmallinen metsänhoito (Äijälä ym. 2019). Riskien ennakointi on myös tärkeää. Puulaji kannattaa valita kasvupaikan ja maalajin mukaan, sekä hakkuut ja hoitotyöt kannattaa tehdä metsänhoitosuosituksen mukaan. Heinätorjunta, varhaisperkaus ja taimikonharvennus tulisi tehdä oikea-aikaisesti, sillä hyväkasvuinen ja terve taimikko kestää paremmin muuttuvaa ilmastoa. (Selander 2019.)

Metsänhoidossa on tarpeellista varautua voimakkaiden tuulten ja runsaan kostean lumikuorman aiheuttamiin puustovaurioihin. Tuulituhoja voidaan ehkäistä välttämällä voimakkaita harvennuksia ja rajaamalla avohakkuualojen mäet ja pehmeiköt siten, ettei vallitsevat tuulet vaikuttaisi reunametsään. (Remes 2016.) Tuulituhooaltille harvennuskohteelle voisi jättää suojavyöhykkeen (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Tuulituhooille ja juurikäpätuhooille altilloilla tulisi aikaistaa uudistushakkuita. Huonokuntoiset, varttuneet puustot tulisi uudistaa välittömästi. (Äijälä ym. 2019.) Laajat lumi- ja tuulituhot lisäävät merkittävästi hyönteistuhojen riskiä. Lisäksi haitalliset sienet kuten juurikäävät, käyttävät vahingoittuneita puita lisääntymisalustanaan. Havupuut tulisi korjata tuhoalueilta mahdollisimman nopeasti. (Maa- ja metsätalousministeriö 2014.)

Metsikön tuhokestävyttä parannetaan poistamalla kasvussaan jälkeen jääneitä puita alaharvennuksessa. Tuulituhoaltille alueilla ei tulisi tehdä myöhemmistä yläharvennusta esimerkiksi kuusikoissa tai männiköissä, koska suoja kasvaneet puut eivät ole ehtineet sopeutumaan latvusten lisääntyvään massaan ja sitä kautta tuulikuormaan. Metsänhoidon suunnittelussa on tärkeää huomioida, että suurten lumikertymien ja rajujen tuultenopeuksien esiintyminen vaihtelee huomattavasti eri puolilla Suomea, joten samankaltainen metsänhoito voi lisätä toisaalla tuhoja ja toisaalla ei. (Peltola 2010.) Kuvassa 25 näkyy kartalla todennäköisyydet tuulituhoille viiden vuoden jaksolla.



Kuva 25. Tuulituhoriskikartta (Luke 2019)

Arvot ilmaisevat todennäköisyyden sille, että kuviolla tapahtuu tuulituhoja viiden vuoden ajanjaksolla. Mitä tummempi sininen väri, sitä suurempi todennäköisyys tuulituhoille. Tuulituho ei välttämättä tarkoita totaalista tuhoa kuviolla,

vaan tuho voi olla pieniasteisempaa. Kartta perustuu VMI11 tuohavaintojen perusteella tehtyyn tilastolliseen malliin. Tuulituhojen todennäköisyyteen vaikuttavat puuston pituus ja kuusivaltaisuus, tuulinen kasvupaikka, viimeaikaiset hakkuut, avoimet metsän reunat, kasvupaikan tyyppi, maaperän tyyppi ja paksaus, sekä keskimääräinen lämpösumma. (Luke 2019.) Tuulituhoriskikarttaa voi hyödyntää muun muassa metsänhoidon suunnittelussa, ja siten varautua paremmin tulevaisuuden tuulituhoriskeihin. Luke on julkaissut myös lumituhoriskikartan.

Metsäsuunnittelussa ilmastonmuutoksen sopeutumisen keinoja ovat puusto- ja kasvupaikkatietojen ajan tasalla pitäminen, paikkatiedon hyödyntäminen riskikohteiden tunnistamisessa, sekä kohteen optimaalisen korjuukelpoisuusajankohdan huomioiminen. Lisäksi tilatasolla tulisi välttää yksipuolista puustorakennetta ja käyttää monipuolisesti eri metsänkasvatuksen puulajeja ja menetelmiä. Ojituksen kunnostuksessa voisi hyödyntää pitkän ajan sääennusteita. Tarpeetonta ojien kunnostusta tulisi välttää turvemilla. Pohjavedenpinnan tason säätelyssä voisi hyödyntää puustoisuutta. (Äijälä ym. 2019.)

5.2 Metsänviljely ja puulajin valinta

Terveellä ja elinvoimaisella puustolla on hyvä kasvu ja vastustuskyky. Suomen metsissä kasvavat alkuperäiset kotimaiset puulajit kuten kuusi, mänty ja koivu ovat tuhansien vuosien aikana sopeutuneet ilmastoomme ja eri vuodenaikoihin, joten niillä on myös parhaat mahdollisuudet sopeutua tulevaan ilmastoon. (Selander 2019.) Ilmastonmuutos tuo mukanaan mahdollisuuksia kasvattaa myös muun muassa jaloja lehtipuita, lehtikuusta, tervaleppää ja haapaa (Äijälä ym. 2019).

Metsänviljelyssä voisi hyödyntää jalostettua männyn ja kuusen siemenmateriaalia, jonka avulla puuston kasvu lisääntyisi 15 – 20 % verrattuna metsikkösiemenen kasvuun, ja siten kiertoaikaa saisi lyhennettyä. Jalostuksella pystytään vaikuttamaan myös puun laatuun ja terveyteen. Kiertoaikaa olisi hyödyllistä sopeuttaa puuston kunnan mukaan, sillä puuston vanhetessa erilaisten tuhojen riskit kasvavat. Lyhentämällä kiertoaikaa voidaan ehkäistä tuulituhoja ja juurikäppää. (Selander 2019.) Jalostetusta siemenestä kasvatetut paakkutaimet ja nykyiset kohoumia tekevät muokkausmenetelmät, kuten laikku- ja

kääntömätästyksset, tuovat taimikolle nopean alkukehityksen. Käyttämällä jalostettua viljelymateriaalia voidaan lisätä puuntuotosta ja hiilensidontaa jopa yli 30 % verrattuna jalostamattomaan materiaaliin. (Saksa 2020.)

Kesän kuumien ja kuivien jaksojen yleistyminen sekä kevään kuivuus lisäävät haasteita istutustaimien menestymiselle. Hyvän maanmuokkauksen ja istutustyön sekä taimihuollon laadun merkitys kasvaa. Taimien istuttaminen riittävän syvälle hyvään muokkausjälkeen parantaa kuivuusstressistä selviämistä sekä suojaa tukkimiehentäituhoilta. (Saksa 2020.) Toimenpiteiden, kuten istutuksen ja kylvön, ajoituksessa pitäisi hyödyntää pitkän ajan sääennusteita. Luontaisessa uudistamisessa voisi hyödyntää siemensatoennusteita. (Äijälä ym. 2019.) Ilmastonmuutoksen myötä pienten taimien rouste- ja ahavatuhoriskit kasvavat Etelä-Suomessa. Näihin tuhoriskeihin voidaan varautua maanmuokkauksella sekä viljelytyön ja -materiaalin hyvällä laadulla. (Saksa 2020.)

Voimakkaat sateet tulevat lisääntymään ennusteiden mukaan, jolloin alavilla paikoilla voi tapahtua tulvia. Myös kesän pitkät kuivat jaksot lisääntyvät. Näin ollen metsänviljelyssä tulisi huomioida erityisen tarkasti puulajin menestymisen kasvupaikalla. (Remes 2016.) Puun juuriston ja verson tasapainoisen kehityksen perusedellytyksenä on metsänviljelyaineiston sopeutuneisuus viljelyalan olosuhteisiin (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Kuusta ei tulisi viljellä kuivuusherkillä karkeille tai kallioisille maapohjille, eikä myöskään tulvaherkille alaville maille. Kuivilla kasvupaikoilla tulisi suosia mäntyä, koska se on hyvin sopeutunut siihen. Lehtipuut kestävät jaksoittaisia tulvia hyvin, etenkin hieskoivuut. (Remes 2016.) Laajojen kuusimetsiköiden välttäminen ja kuusen istuttaminen vähäisen kuivuusriskin kasvupaikalle parantaa tuhoriskien hallintaa etenkin Etelä-Suomessa (Saksa 2020).

5.3 Monimuotoisuuden edistäminen

Metsäluonnon monimuotoisuus ja monimuotoisuuden turvaaminen ovat myös keinoja sopeutua ilmastonmuutokseen. Kaikissa metsässä tehtävissä toimenpiteissä on luonnon monimuotoisuus otettava huomioon. Monimuotoisuutta voidaan edistää sekapuustoisuudella ja lehtipuusekoituksella. Luontaista taimiainesta voi hyödyntää sekapuustoisuuden aikaansaamiseksi. (Äijälä ym.

2019.) Havupuuvaltaiseen taimikkoon voi mahdollisesti jättää lehtipuusekoituksen taimikonharvennuksessa. Jättämällä metsiin eläviä säästöpuita, lahoppuita sekä reunavyöhykkeitä voidaan edistää biologista monimuotoisuutta, joka auttaa metsiä sopeutumaan muuttuviin olosuhteisiin. (Selander 2019.)

Sekapuustoisuuden ylläpitäminen harvennushakkuissa parantaa puuston kykyä vastata ilmastonmuutoksen mukanaan tuomiin uhkiin. Sekametsien perustamisen mahdollisuudet ovat parantuneet kehittyneiden maanmuokkausmenetelmien sekä nykyisen jalostetun viljelymateriaalin avulla. Mänty-kuusi-sekametsikön kasvattamisen mahdollistaa jalostetun kuusen viljelymateriaalin nopea kasvuun lähtö. On myös mahdollista perustaa yksijaksoisia kuusi-rauduskoivumetsiköitä hyödyntämällä kuusen istutustaimikossa syntyneitä rauduskoivutaimia taimikonhoitovaiheessa. (Huuskonen ym. 2021.)

6 POHDINTA

6.1 Opinnäytetyön luotettavuus

Opinnäytetyön luotettavuutta lisää kotimaisten ja kansainvälisten lähteiden runsas ja monipuolinen käyttö. Luotettavuutta lisää myös tieteellisten artikkelien käyttö, lähteiden tuoreet julkaisuvuodet, tarkat tekijätiedot sekä alkuperäisten lähteiden käyttö. Useat opinnäytetyössä käytetyt lähteet on julkaistu vuonna 2020. Työssä käytettyjä lähteitä kertyi yli kahdeksan sivua, mikä kertoo työn monipuolisesta ja laajasta tiedon määrästä. Työssä runsaasti käytettyjä lähdemateriaalien sivustoja ja julkaisijoita olivat Luke, Ilmatieteen laitos, Suomen metsäkeskus, Syke, IPCC, Euroopan parlamentti, Maa- ja metsätalousministeriö ja Metsänhoidon suositukset. Opinnäytetyössä pyrittiin olemaan mahdollisimman kriittinen lähteiden kanssa.

Työn aiheesta löytyi runsaasti ja monipuolisesti tietoa. Erityisesti ilmastonmuutos on laajasti tutkittu ilmiö, josta löytyi tieteellistä ja luotettavaa tietoa. Myös abioottisista metsätuhoista löytyi runsaasti tietoa. Työssä hyödynnettiin tieteellisiä artikkeleita, joista löytyi ajankohtaista, luotettavaa ja hyödyllistä tietoa. Artikkeleista löytyi myös erinomaisia kuvia ja informatiivisia taulukoita, joita työssä hyödynnettiin.

Opinnäytetyön luotettavuuteen voi negatiivisesti vaikuttaa joidenkin lähteiden puutteellinen vuositieto. Lähteitä, joiden julkaisuvuosi ei ollut tiedossa, vältettiin mahdollisimman paljon. Kyseisiä lähteitä käytettiin, jos julkaisija ja sivusto olivat luotettavan oloisia.

6.2 Ilmastonmuutos lisää tuuli- ja myrskytuhoja

Tuulituhot ovat yleisiä koko maassa. Suomessa tuulee eniten talven kuukausina ja selvästi vähemmän kesän kuukausina. Tuulisuuteen ei ole odotettavissa suuria muutoksia, mutta talvimyrskyt tulevat olemaan tuhoisampia talvien leudontumisen ja roudan vähenemisen takia. Tuulituhoriski tulee kasvamaan voimakkaammin Etelä-Suomessa verrattuna Pohjois-Suomeen. Tulevaisuudessa tuulituhot voivat aiheuttaa miljoonien, ellei jopa kymmenien miljoonien kuutiometrien vahingot. Tulevaisuudessa lännen ja luoteen puoleiset kovat geostrofiset tuulet voivat yleistyä.

Myrskyjä esiintyy vuosien mittaan todella vaihtelevasti vallitsevien sääolojen mukaan, ja erittäin voimakkaita myrskyjä tapahtuu vain harvoin. Myrskytuhoilla on satunnainen luonne, sillä suurimman osan pitkän aikavälin tuhoista voi aiheuttaa vain muutama voimakas, ellei jopa vain yksi myrsky. Suomessa voi tapahtua entistä voimakkaampia myrskyjä kuin mitä viime vuosina on tapahtunut, eikä se välttämättä liity ilmastonmuutokseen.

Ilmaston lämmetessä lumen ja jään määrä vähenee, luminen vuodenaika lyhenee, sekä entistä isompi osa talven sateista tulee vetenä ja pienempi osa lumena. Runsaslumisia talvia on jatkossakin, mutta ajan myötä ne tulevat vähentymään. Suuret lumikuormat ja niiden aiheuttamien lumituhojen todennäköisyys tulee kasvamaan huomattavasti Itä- ja Pohjois-Suomessa vuosisadan loppuun mennessä. Etelä- ja Länsi-Suomessa lumituhoriski pienenee.

Hyönteistuhoriski kasvaa tuuli- ja lumituhojen seurauksena. Kirjanpainaja- ja ytimennävertäjätuhot voivat lisääntyä Suomessa tuuli- ja lumituhojen sekä lämpimien kesien seurauksena. Tuhohyönteiset lisääntyvät etenkin kaatuneissa, katkenneissa ja vaurioituneissa tuoreissa rungoissa. Sienituhot, erityisesti juurikäpätuhot, lisääntyvät ilmaston lämpenemisen myötä, mikä lisää tuuli- ja lumituhoriskejä entisestään. Myös tervasroso iskee lumenmurtoihin.

On erittäin tärkeää korjata vahingoittuneet puut mahdollisimman nopeasti tuhoalueilta, jolloin seurannaistuhojen riski vähenee.

6.3 Sateisuuden muutokset ristiriitaisia

Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomen ilmasto lämpenee ja muuttuu sateisemmaksi. Lisääntyvien sateiden myötä tulvariskit kasvavat. Kasvillisuusvyöhykkeet ovat siirtymässä vähitellen pohjoisempaan ja eteläiset lajit tulevat menestymään paremmin. Vuosisadan päättyessä suurin osa Suomea tulee kuulumaan eri ilmastovyöhykkeeseen. Tulevaisuudessa kasvitaudit sekä sieni- ja hyönteistuhot tulevat lisääntymään.

Suomessa kuivuus ei ole aiheuttanut niin merkittäviä ongelmia kuin esimerkiksi Etelä-Euroopassa. Arvioiden mukaan kuivuus ei tule pahenemaan merkittävästi Pohjois-Euroopassa. Keväällä maaperän kuivuus voi pahentua lumen ja roudan vähentyessä. Poikkeukselliset ja pitkät kuivat kasvukaudet voivat tappaa puustoa ja altistaa niitä sieni- ja hyönteistuhoilta. Kuivuus voi aiheuttaa ongelmia etenkin kuuselle. Kuivuus edesauttaa metsäpalojen syntymistä.

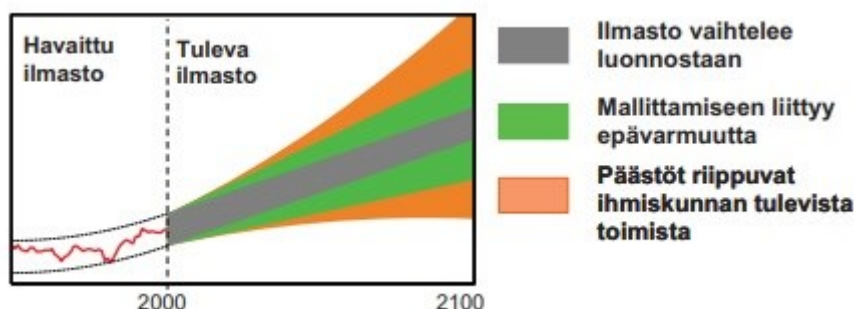
Ilmastonmuutoksen myötä kuivemmat ja lämpimämmät olosuhteet tulevat aiheuttamaan enemmän metsäpaloja. Lisääntyvä höyrystyminen kasvattaa metsäpalojen mahdollisuuksia ja metsäpalohälytyspäivien arvioidaan lisääntyvän. Alueellisesti metsäpalovaaran ennustetaan kasvavan melko samanlaisesti koko maassa. Viime vuosikymmeninä metsäpalot eivät ole aiheuttaneet merkittävän laajoja tuhoja.

Suomessa metsäpalot eivät ole niin iso uhka kuin muissa maissa, sillä Suomessa on tiheä metsäautotieverkosto, sujuva yhteistyö eri viranomaisen ja toimijoiden välillä, sekä metsäpalot havaitaan ja sammutetaan yleensä nopeasti. Suomessa metsiä hoidetaan hyvin, joten se ehkäisee palojen syttymistä ja leviämistä. Hoidetussa metsässä paloainesta on vähemmän verrattuna hoidtamattomaan metsään. Lisäksi metsäkoneissa on alkusammutuskalusto ja metsäkoneenkuljettajat ovat käyneet tulityökoulutuksen. Kansainvälinen yhteistyö on myös lisääntynyt metsäpaloasioissa. Tulevaisuudessa metsien hyvä hoito korostuu entisestään metsäpalo-riskien hallinnassa.

Pelastuslaki (29.4.2011/379) velvoittaa, että metsä- ja ruohikkopalovaroituksen aikaan ei saa syyttää nuotiota tai muuta avotulta. Avotulta ei myöskään saa tehdä toisen maalle ilman maanomistajan lupaa. Metsäpalovaroituksen noudattaminen on tärkeää palojen ennaltaehkäisyssä.

6.4 Parhaat keinot varautua ilmastonmuutokseen

Tulevaisuuden ilmastoa ei voi ennustaa tarkasti. Tulevaisuudessa abiottisten tuhojen laajuus on riippuvainen siitä, mikä RCP-ilmastoskenaario toteutuu. Ennusteiden välillä voi olla isojakin eroja. Ilmasto muuttuu luonnollisesti, joten se aiheuttaa epävarmuutta ilmastoskenaarioihin. Esimerkiksi joinakin vuosikymmeninä ilmavirtaukset saattavat puhallella normaalia useammin kylmiltä ilmansuunnilta ja joinakin vuosikymmeninä lämpimiltä ilmansuunnilta. (Jylhä ym. 2009.) Kuvassa 26 esitetään epävarmuustekijöiden vaikutukset eripituisissa ilmastoennusteissa.



Kuva 26. Epävarmuustekijöiden vaikutukset ilmastoennusteissa (Jylhä ym. 2009)

Kuvion vaaka-akseli kuvaa aikaa ja pystyakseli ilmastosuureen arvon vaihtelua. Ilmastosuure on esimerkiksi lämpötila tai sademäärä. Punainen käyrä viittaa tähän asti havaittuun ilmaston vaihteluun. Väritetty alue viittaa ilmastoennusteen epävarmuuteen eri tekijöistä johtuen. Oranssi väri tarkoittaa kasvihuonekaasujen pitoisuuden muuttumista ilmakehässä, Vihreä väri ilmastomallien välisiä eroja ja harmaa väri ilmaston luonnollista vaihtelua. Eri tekijöiden osuus vaihtelee paljon tapauksesta riippuen. 10-20 vuoden aikana epävarmuutta aiheuttaa ylivoimaisesti eniten ilmaston luonnollinen vaihtelu. Pidemmän jakson keskiarvoa tarkasteltaessa luonnollisen vaihtelun osuus on selvästi pienempi. Luonnollinen vaihtelu on suurempaa sademäärässä verrattuna lämpötilan ennusteisiin. (Jylhä ym. 2009.)

Huolimatta siitä, mikä ilmastoskenaario toteutuu, ilmastonmuutokseen kykenevät parhaiten sopeutumaan runsaat ja monimuotoiset metsät. Tulevaisuuden uhkia ajatellen on tärkeää hoitaa metsiä aktiivisesti, suunnitella toimenpiteet järkevästi, noudattaa metsänhoitosuosituksia, käyttää monipuolisesti eri metsänkasvatuksen puulajeja ja menetelmiä, käyttää jalostettua viljelymateriaalia, korjata vaurioituneet puut nopeasti tuhoalueilta, suosia sekametsiä, huomioida luonnon monimuotoisuus ja hyödyntää tuhoriskikarttoja.

On hyvä huomioida, että ilmastonmuutoksella on myös hyödyllisiä vaikutuksia Suomelle. Näitä vaikutuksia ovat muun muassa metsien nopeampi kasvu, maanviljelyn helpottuminen ja lämmityksen tarpeen väheneminen. Metsien nopeampi kasvu voi mahdollisesti estää tai auttaa estämään abioottisia tuhoja. Ilmastonmuutoksen myötä puulajivalikoima monipuolistuu. Jalojen lehtipuiden levinneisyysraja siirtyy pohjoiseen, jolloin metsien rakenne muuttuu. Monimuotoiset metsät ovat vahvempia tuhoja vastaan. Toisaalta jalojen lehtipuiden mukana tulee uusia juuri näiden puulajien tuholaisia.

Metsätuhoihin varautuminen edellyttää jatkuvaa tuhoihin liittyvää tilannetietoisuutta. Luonnonvarakeskus tuottaa tietoa metsien tilasta ja metsätuhoista. Suomen metsäkeskus laatii metsätuhoja koskevan valtakunnallisen valmiussuunnitelman ja seuraa tuhojen laajuutta metsänkäyttöilmoitusten perusteella. Suomen metsäkeskus järjestää myös metsätuhokoulutusta. (Maa- ja metsätalousministeriö 2014.)

Metsätuhojen tapahtuessa eri organisaatioiden yhteistyö korostuu. Ilmatieteen laitos seuraa säätä ympäri vuorokauden ja varoittaa vaarallisista tai haitallisista ilmiöistä. Metsähallitus neuvoo pelastusviranomaisia metsäpalojen torjunnassa ja varautuu valtion mailla metsäpalojen ehkäisyyn ja torjuntaan yhteistyössä pelastusviranomaisten kanssa. Suomen metsäkeskus on myös velvollinen antamaan virka-apua pelastusviranomaisille. Luonnonvarakeskus, Suomen metsäkeskus ja Metsähallitus ilmoittavat äkillisistä ja laajoista metsätuhoista tai muista metsätuhoihin liittyvistä uhkatilanteista maa- ja metsätalousministeriöön. Maa- ja metsätalousministeriö ja Suomen metsäkeskus vas- taavat valtakunnallisesta metsätuhoviestinnästä. Maanmittauslaitos osallistuu

luonnontuhojen ilmakuvaan maa- ja metsätalousministeriön kanssa erikseen sovitulla tavalla. (Maa- ja metsätalousministeriö 2014.)

Ilmastonmuutos tuo mukanaan erilaisia uhkia ja mahdollisuuksia metsiin. On todella tärkeää neuvoa metsänomistajia mahdollisimman paljon, jolloin yksityisetkin metsänomistajat osaisivat varautua paremmin tulevaisuuden muutoksiin metsätiloillaan. Yksityisten metsänomistajien rooli on merkittävä ilmastonmuutoksen mahdollisuuksien hyödyntämisessä ja haittojen ehkäisyssä. Metsäammattilaisten rooli on tärkeä neuvonnassa. Tulevaisuudessa aktiivinen ja suunnitelmallinen metsänhoito korostuu entisestään.

LÄHTEET

Asikainen, A., Lehtonen, I. & Viiri, H. 2019a. Suomen ilmastopaneeli: Talvi-
myrskytuhot kasvavat Suomessa – metsätuhojen laajuus voi olla tulevaisuu-
dessa jopa kymmeniä miljoonia kuutioita. Suomen ilmastopaneeli. WWW-
dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmastopaneeli.fi/tiedotteet/talvimyrskytuhot-kasvavat-suomessa-metsatuhojen-laajuus-voi-olla-tulevaisuudessa-jopa-kymmenia-miljoonia-kuutioita/> [viitattu 29.9.2020].

Asikainen, A., Viiri, H., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Lintunen, J., Laturi, J.,
Uusivuosi, J., Luonnonvarakeskus., Venäläinen, A., Lehtonen, I., Ruosteen-
oja, K. & Ilmatieteenlaitos. 2019b. Ilmastonmuutos ja metsätuhot – Analyysi il-
maston lämpenemisen seurauksista Suomessa. Suomen Ilmastopaneeli.
PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-con-
tent/uploads/2019/01/Ilmastopaneeli_Mets%C3%A4tuhoraportti_tivis-
telm%C3%A4.pdf](https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/01/Ilmastopaneeli_Mets%C3%A4tuhoraportti_tivis-telm%C3%A4.pdf) [viitattu 5.2.2021].

Church, J. & Clark, P. 2013. Sea level change. In: Climate Change 2013: The
Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Asses-
ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. PDF-
dokumentti. Saatavissa: [https://www.ipcc.ch/site/as-
sets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf)
[viitattu 16.9.2020].

Climate Central. 2018. Previewing the National Climate Assessment. WWW-
dokumentti. Saatavissa: [https://medialibrary.climatecentral.org/resources/nati-
onal-climate-assessment-resources-2018](https://medialibrary.climatecentral.org/resources/national-climate-assessment-resources-2018) [viitattu 13.9.2020].

CO₂-raportti s.a. Ilmastonmuutos. WWW-dokumentti. Saatavissa:
<https://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos> [viitattu 11.9.2020].

Euroopan parlamentti. 2018a. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Euroopassa.
WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headli-
nes/society/20180905STO11945/ilmastonmuutoksen-vaikutukset-euroopassa](https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180905STO11945/ilmastonmuutoksen-vaikutukset-euroopassa)
[viitattu 17.9.2020].

Euroopan parlamentti. 2018b. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Euroopassa: ti-
lastoja ja tietoa. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.europarl.eu-
ropa.eu/news/fi/headlines/society/20180703STO07123/ilmastonmuutos-
euroopassa-tilastoja-ja-tietoa](https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180703STO07123/ilmastonmuutos-euroopassa-tilastoja-ja-tietoa) [viitattu 17.9.2020].

Euroopan parlamentti. 2019. Hiilidioksidipäästöjä vähentämässä: EU:n tavoit-
teet ja toimet. WWW-dokumentti. Päivitetty 7.5.2019. Saatavissa:
[https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/priorities/ilmastonmuu-
tos/20180305STO99003/hiilidioksidipaastoja-vahentamassa-eu-n-tavoitteet-
ja-toimet](https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/priorities/ilmastonmuutos/20180305STO99003/hiilidioksidipaastoja-vahentamassa-eu-n-tavoitteet-ja-toimet) [viitattu 19.9.2020].

Euroopan parlamentti. 2020. Kehitys kohti EU:n ilmastotavoitteita (infogra-
fiikka). WWW-dokumentti. Päivitetty 29.7.2020. Saatavissa: [https://www.euro-
parl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180706STO07407/kehitys-kohti-
eu-n-ilmastotavoitteita-infografiikka](https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180706STO07407/kehitys-kohti-eu-n-ilmastotavoitteita-infografiikka) [viitattu 20.9.2020].

European Environment Agency. 2016. Key findings – Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. WWW-dokumentti. Päivitetty 25.1.2017. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016/key-findings> [viitattu 17.9.2020].

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. Abiotic disturbances. WWW-dokumentti. Päivitetty: 20.02.2015. Saatavissa: <http://www.fao.org/forestry/abiotics/en/> [viitattu 30.9.2020].

Haanpää, S., Lehtonen, S., Peltonen, L. & Talockaite, E. 2007. Impacts of winter storm Gudrun of 7th – 9th January 2005 and measures taken in Baltic Sea Region. YTK & ECAT. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://disco-map.eea.europa.eu/map/Data/Milieu/OURCOAST_110_Baltic/OURCOAST_110_Baltic_Doc1_ImpactGudrunStorm.pdf [viitattu 8.2.2021].

Hakkuukertymä kasvaa mutta metsätuhot lisääntyvät s.a. Syke. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/af2da594-445a-42dd-8f57-d085735cc6e0/metsatalous.html#ref_Met10 [viitattu 23.9.2020].

Honkaniemi, J., Lehtonen, M., Väisänen, H. & Peltola, H. 2017. Effects of wood decay by *Heterobasidion annosum* on the vulnerability of Norway spruce stands to wind damage: a mechanistic modelling approach. Canadian Journal of Forest Research. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://cdnsciencepub.com/doi/abs/10.1139/cjfr-2016-0505> [viitattu 9.2.2021].

Huuskonen, S., Domisch, T., Finer, L., Hantula, J., Hynynen, J., Matala, J., Miina, J., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Niemistö, P., Nikula, A., Piri, T., Siitonen, J., Smolander, A., Tonteri, T., Uotila, K. & Viiri, H. 2021. What is potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia. Forest Ecology and Management. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811272031327X?via%3Dihub> [viitattu 16.3.2021].

Ilmastonmuutoksen seuraukset s.a. EU:n virallinen verkkosivusto. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_fi [viitattu 13.9.2020].

Ilmastonmuutoksen syyt s.a. EU:n virallinen verkkosivusto. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_fi [viitattu 11.9.2020].

Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsien monimuotoisuuteen s.a. Syke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/999b5e1b-9417-40fa-851e-d6c2995fa7c8/metsien-monimuotoisuus.html> [viitattu 25.9.2020].

Ilmastonmuutos kiihdyttää puiden kasvua Suomessa s.a. Syke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/34335d0b-495f-44c6-8d3f-5e528df49713/ilmastonmuutos-kiihdyttaa-puiden-kasvua-suomessa.html> [viitattu 24.9.2020].

Ilmasto-opas s.a. Lumi vähenee Suomessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkelii/4dbb7860-1c3c-4da1-b024-a653585f1024/lumi-vahenee.html> [viitattu 10.3.2021].

Ilmasto.org s.a. Kymmenen ilmastonmuutoksesta usein kysyttyä kysymystä. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/usein-kysytyt-kysymykset.html#Mitae_ilmastonmuutos_tarhoittaa [viitattu 15.9.2020].

Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto & SYKE. 2011. Lyhyt loppuraportti. ACCLIM II Ilmastonmuutosarviot ja asiantuntijapalvelu sopeutumistutkimuksia varten. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/2969695-Lyhyt-loppuraportti-acclim-ii-ilmastonmuutosarviot-ja-asiantuntijapalvelu-sopeutumistutkimuksia-varten.html> [viitattu 28.9.2020].

Ilmatieteen laitos. 2015. Kohti Pariisia: Ilmastoskenaariot tarjoavat tietoa tulevasta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ajankoh-taista/113764861> [viitattu 27.3.2021].

Ilmatieteen laitos. 2018. Ilmakehän rajakerrosta voidaan mitata ceilometrillä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/uutinen/736312641> [viitattu 9.3.2021].

Ilmatieteen laitos. 2020a. Tuulet ja myrskyt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuulet> [viitattu 27.1.2021].

Ilmatieteen laitos. 2020b. Merkittäviä myrskyjä ja rajuilmoja Suomessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/merkittavia-myrskyja-suomessa> [viitattu 2.2.2021].

Ilmatieteen laitos s.a. Kesän 2010 rajuilmat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kesan-2010-rajuilmat> [viitattu 29.9.2020].

Jalkanen, R. & Repo, T. 2016. Lumi- ja tykkytuhot. Luke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsatuhot/lumi-ja-tykkytuhot/> [viitattu 8.3.2021].

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. Ilmatieteen laitos & Helsingin yliopisto. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15711/2009nro4.pdf?sequence=1> [28.3.2021].

Kankaanhuhta, V. & Väkevä, J. 2005. Lumi. Luke. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.1.2013. Saatavissa: http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/ablumi-n.htm [viitattu 8.3.2021].

Kankaanhuhta, V. & Väkevä, J. 2004. Kuiva kasvukausi. Luke. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.1.2013. Saatavissa: http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/abkuiv-n.htm [viitattu 5.3.2021].

Kankaanhuhta, V & Väkevä, J. 2000. Metsäpalo. Luke. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.1.2013. Saatavissa: http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/abpalo-p.htm [viitattu 22.2.2021].

Kilpeläinen, A., Kellomäki, S., Strandman, H. & Venäläinen A. 2010. Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland. *Climate Change* 103. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-009-9788-7> [viitattu 26.2.2021].

Korhonen, M., Lohi, T. & Niskanen, Y. s.a. Viime talven lumituhoja korjataan edelleen. Suomen metsäkeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/content/viime-talven-lumituhoja-korjataan-edelleen> [viitattu 20.11.2020].

Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013.

Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Gregow, H. & Venäläinen, A. 2016a. Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/309576804_Heavy_snow_loads_in_Finnish_forests_respond_regionally_asymmetrically_to_projected_climate_change [viitattu 10.3.2021].

Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Peltola, H. & Gregow, H. 2016b. Risk of large-scale fires in boreal forests of Finland under changing climate. Finnish Meteorological Institute & University of Eastern Finland, School of Forest Sciences. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/542/nhess-16-239-2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 1.3.2021].

Lehtonen, I. 2019. Lämpenevä ilmasto suosii metsätuholaisia. Ilmastokatsaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ilmastokatsaus.fi/2019/06/20/lampeneva-ilmasto-suosii-metsatuholaisia/> [viitattu 29.9.2020].

Lehtonen, I., Ruosteenoja, K. & Mäkelä, A. 2019. Suomen muuttuva ilmasto – tietoa sähkönsiirtojärjestelmän riskien arviointia varten. Ilmatieteen laitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/301521/Suomen_muuttuva_ilmasto_tietoa_s%C3%A4hk%C3%B6nsiirtoj%C3%A4rjestelm%C3%A4n_riskien_arviointia_varten.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 5.2.2021].

Lehtonen, I., Venäläinen, A. & Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/319348/Lehtonen_Ilmastonmuutoksen_vaiikutukset_raportti_2020_5.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 3.2.2021].

Lindberg, H., Heikkilä, T.V. & Vanha-Majamaa, I. 2011. Suomen metsien paloainekset – kohti parempaa tulen hallintaa. Luke. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.metla.fi/julkaisut/muut/Suomen_metsien_paloainekset-suojattu.pdf [viitattu 3.2.2021].

Luke. 2016. Metsät ja poikkeukselliset säät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/poikkeuksellisten-saiden-vaikutus-luonnonvaroihin/metsat-ja-poikkeukselliset-saat/> [viitattu 5.3.2021].

Luke. 2018a. Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12): Puuvarat kasvavat edelleen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.luke.fi/uutinen/valtakunnan-metsien-12-inventointi-vmi12-puuvarat-kasvavat-edelleen/> [viitattu 16.11.2020].

Luke. 2018b. Metsävarat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-metsasuunnitelu/metsavarat/#> [viitattu 16.11.2020].

Luke. 2019. Metsätuhoriskikartta. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.9.2019. Saatavissa: <https://metsainfo.luke.fi/fi/metsatuhoriskikartta> [viitattu 16.3.2021].

Lämpenevä ilmasto synnyttää myös Suomessa yhtä rajumpia metsäpaloja. 2018. *Aamulehti*. Verkkolehti. Päivitetty 26.8.2018. Saatavissa: <https://www.aamulehti.fi/paakirjoitukset/art-2000007311605.html> [viitattu 2.3.2021].

Maanmittauslaitos & Suomen metsäkeskus. 2020. Lumituhosta johtuvat hakkuut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?appid=1a3ca496405241d9a4e224119667316a&extent=-250622.1892%2C6586364.1817%2C1585409.8108%2C7770108.1817%2C102139> [viitattu 22.11.2020].

Maa- ja metsätalousministeriö. 2011. Maa- ja metsätalousministeriön ilmastomuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma 2011–2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://mmm.fi/documents/1410837/1708293/MMM_n_ilmastonmuutoksen_sopeutumisen_toimintaohjelma.pdf/5cb4bdbc-ebc5-4f8c-bd4f-849c7ffbae1a [viitattu 26.9.2020].

Maa- ja metsätalousministeriö. 2014. Maa- ja metsätalousministeriön varautumissuunnitelma metsätuhoihin. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mmm.fi/documents/1410837/1501861/Varautuminen_metsatuhoihin_2012_2014.pdf/c7fcfa86-a158-470d-914a-9c9cc07cd583/Varautuminen_metsatuhoihin_2012_2014.pdf [viitattu 3.2.2021].

Maa- ja metsätalousministeriö & Sisäministeriö. 2019. Varautumista metsäpaloihin tehostetaan. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mmm.fi/-/varautumista-metsapaloihin-tehostetaan> [24.2.2021].

Matala, J. & Nuutinen, T. 2010. Loppuraportti: Alueelliset metsävaraennusteet muuttuvassa ilmastossa – sopeutumistoimien suunnittelu ja riskit (2006-2009). PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/504204/alueelliset-metsavaraennusteet-loppuraportti-29032010.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 27.9.2020].

Matthews, J. (toim.) 2018. Global Warming of 1.5°C. Annex I: Glossary. IPCC. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_AnnexI_Glossary.pdf [11.9.2020].

Metsä- ja maastopalot s.a. Ilmatieteen laitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/metsa-ja-maastopalot> [24.2.2021].

Metsäntutkimuslaitos. 2018. Metsätuho-opas. WWW-dokumentti. Päivitetty 11.6.2018. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/opas/tuhonaiheuttajaluettelo.htm> [viitattu 29.9.2020].

Metsäntutkimuslaitos. 2014. Metsätilastollinen vuosikirja 2014. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/542362> [8.1.2021].

Monroe, R. 2020. Rise of carbon dioxide unabated. Scripps Institution of Oceanography. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://scripps.ucsd.edu/news/rise-carbon-dioxide-unabated> [viitattu 9.11.2020].

MTK. 2017. Metsät ja ilmastonmuutos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mtk.fi/-/metsat-ja-ilmastonmuutos> [viitattu 23.9.2020].

Nuorteva, H. (toim.) 2019. Metsätuhot vuonna 2018. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 85/2019. Luke. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/545098/luke_luobio_85_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 17.11.2020].

Nurmi, V.-P. 2010. Heinä-elokuun 2010 rajuilmat. Onnettomuustutkintakeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2010/s22010y_tutkintaselostus/s22010y_tutkintaselostus.pdf [viitattu 30.9.2020].

Open ilmasto-opas s.a. Mikä ilmastonmuutos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://openilmasto-opas.fi/mika-ilmastonmuutos/> [viitattu 11.9.2020].

Pachauri, R. & Meyer L. 2015. Climate Change 2014 Synthesis Report. IPCC. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf [viitattu 15.9.2020].

Pelastuslaki 29.4.2011/379.

Peltola, A. & Kulju, I. 2014. Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Metsäntutkimuslaitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/542362> [viitattu 24.9.2020].

Peltola H. & Kellomäki, S. 2005. Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsä-ekosysteemin toimintaan ja rakenteeseen sekä metsien hoitoon ja ainespuun tuotantoon. Metla. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.metla.fi/julkaisut/mt/2005/944/944_Luku10.pdf [viitattu 15.3.2021].

Peltola, H. 2010. Metsien tuuli- ja lumituhoriskien hallinta ja metsänhoidon sopeuttamistarve muuttuvassa ilmastossa. ISTO. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.fi-nessi.info/ISTO/files/ISTO_hankkeet_tuuli_ja_lumituhot_loppuraportti_27_4_2010.pdf [viitattu 11.9.2020].

Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H. & Ikonen, V.-P. 2011. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/237870864_A_mechanistic_model_for_assessing_the_risk_of_wind_and_snow_damage_to_single_trees_and_stands_of_Scots_pine_Norway_spruce_and_birch [viitattu 10.2.2021].

Poulsen, A. & Wium, M. 2020. Mikä on kasvihuoneilmiö ja miten se syntyy. *Tieteen kuvalehti*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tieku.fi/luonto/ilmastomuutos/mika-on-kasvihuoneilmio-ja-miten-se-syntyy> [viitattu 11.9.2020].

Remes, M. 2016. Metsäpalot. Suomen metsäkeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/metsapalot> [viitattu 19.2.2021].

Riikilä, M. 2020. Näin suojaat metsäsi talvituhoilta. *Metsälehti*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/nain-suojaat-metsasi-talvituhoilta/> [viitattu 9.3.2021].

Ruosteenoja, K., Vihma, T. & Venäläinen, A. 2019. Projected changes in European and North Atlantic seasonal wind climate derived from CMIP5 simulations. *American Meteorological Society*. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/32/19/jcli-d-19-0023.1.xml?tab_body=fulltext-display [viitattu 4.2.2021].

Ryttäri, T. 2020. Miten metsäpalo vaikuttaa puustoon. *Suomen luonto*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://suomenluonto.fi/uutiset/miten-metsapalo-vaikuttaa-puustoon/> [viitattu 22.2.2021].

Saksa, T. (toim.) 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito: Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luke. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/546573/luke-luobio_98_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 15.3.2021].

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A. & Reyer, C.P.O. 2017. Forest disturbances under climate change. *US National Library of Medicine National Institutes of Health*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5572641/> [viitattu 3.3.2021].

Selander, A. 2019. Metsänomistaja – näin varaudut muuttuvaan ilmastoon. *Metsään*. Verkkolehti. Päivitetty 26.3.2019. Saatavissa: <https://www.metsaanlehti.fi/uutiset/metsanhoito/metsanomistaja-nain-varaudut-muuttuvaan-ilmastoon.html> [viitattu 18.2.2021].

Shaftel, H., Jackson, R., Callery, S. & Bailey, D. 2020. Sea Level. NASA. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.2.2021. Saatavissa: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> [viitattu 18.2.2021].

Sihto-Nissilä, S. 2019. Miksi lämpötila ei noudata CO2 pitoisuuden nousua ilmastomuutosteorian mukaisesti. Kysy ilmastosta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kysymykset.kysyilmastosta.fi/t/miksi-lamportila-ei-noudata-co2-pitoisuuden-nousua-ilmastomuutosteorian-mukaisesti/459> [viitattu 12.9.2020].

Stocker, T. & Qin D. (toim.) 2013. Climate change 2013: The Physical Science Basis. IPCC. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf [viitattu 11.9.2020].

Stora Enso Metsä s.a. Metsäpalo syttyy herkästi helteellä – ennakoi ja pienennä riskiä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.storaenso-metsa.fi/metsapalo/> [viitattu 25.2.2021].

Suomen metsäkeskus. 2016a. Metsäsanasto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/metsasanasto> [viitattu 29.9.2020].

Suomen metsäkeskus. 2016b. Ilmastonmuutos ja metsänhoito. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/ilmastonmuutos-ja-metsanhoito> [viitattu 9.3.2021].

Suomen metsäkeskus. 2019. Metsäpalokartat auttavat palontorjunnan suunnittelussa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/en/node/3983?language=en> [viitattu 22.2.2021].

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2013. Ilmastonmuutos vaikuttaa suuresti luontoon ja ihmisten elinympäristöön. WWW-dokumentti. Päivitetty 8.8.2019. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_vaikutukset [viitattu 27.9.2020].

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2015. Suomen keskilämpötila on kohonnut asteen sadassa vuodessa. WWW-dokumentti. Päivitetty 24.8.2016. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilmastonmuutos_ja_energia/Suomen_keskilamportila_on_kohonnut_asteen\(28550\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilmastonmuutos_ja_energia/Suomen_keskilamportila_on_kohonnut_asteen(28550)) [viitattu 4.10.2020].

Tieteen kuvalehti s.a. Ilmastonmuutos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tieku.fi/luonto/ilmastonmuutos> [11.9.2020].

Työ- ja elinkeinoministeriö, Ilmatieteen laitos & Motiva Oy. 2010. Suomen Tuuliatlas yhteenvetoraportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.tuuliatlas.fi/linked/fi/Tuuliatlas_yhteenvetoraportti.pdf [30.1.2021].

UNFCCC. 1992. United Nations framework convention on climate change. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf [11.9.2020].

U.S. Forest Service s.a. Abiotic Forest Damage. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fs.fed.us/foresthealth/protecting-forest/native-insects-diseases/abiotic-damage.shtml> [viitattu 30.9.2020].

Valta, J., Lehtonen, I., Laurila, T. K., Venäläinen, A., Laapas, M. & Gregow, H. 2019. Communicating the amount of windstorm induced forest damage by the

maximum wind gust speed in Finland. Finnish Meteorological Institute. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://asr.copernicus.org/articles/16/31/2019/asr-16-31-2019.pdf> [viitattu 2.2.2021].

Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., Ruosteenoja, K., Tikkanen, O.-P., Viiri, H., Ikonen, V.-P. & Peltola, H. 2020. Ilmastonmuutos lisää metsätuhojen riskejä Suomessa. Metsätieteen aikakauskirja. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/article/10454> [viitattu 10.3.2021].

Viiri, H. 2019. Tuulituhoja metsissä ei voida kokonaan välttää – maan roudattomuus kasvattaa puiden riskiä kaatua. *Aarre*. Verkkolehti. Päivitetty 2.1.2019. Saatavissa: <https://www.aarrelehti.fi/jutut/artikkeli-1.354644> [viitattu 8.2.2021].

Väkevä, J. & Kankaanhuhta, V. 2014. Myrsky. Luke. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.5.2014. Saatavissa: http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/abmyrs-n.htm [viitattu 28.1.2021].

Ympäristöministeriö. 2014. Vaiheittain eroon fluorikaasujen käytöstä. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BC6115320-C96E-49F4-9B24-74942B228FAC%7D/99746> [viitattu 9.11.2020].

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/Metsanhoidon_suosituksset_ver3_netiti_1709141.pdf [viitattu 16.11.2020].

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset 2019. Tapio. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019.pdf [viitattu 19.11.2020].