

Ari Venäläinen¹, Ilari Lehtonen¹, Mikko Laapas¹, Kimmo Ruosteenoja¹,
Olli-Pekka Tikkanen², Heli Viiri³, Veli-Pekka Ikonen² ja Heli Peltola²

Ilmastomuutos lisää metsätuhojen riskejä Suomessa

Venäläinen A., Lehtonen I., Laapas M., Ruosteenoja K., Tikkanen O.-P., Viiri H., Ikonen V.-P., Peltola H. (2020). Ilmastomuutos lisää metsätuhojen riskejä Suomessa. Metsätieteen aikakauskirja 2020-10454. Tieteen tori. 9 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10454>

Yhteystiedot ¹Ilmatieteen laitos, Helsinki; ²Itä-Suomen yliopisto, Joensuu; ³UPM Metsä, Tampere
Sähköposti ari.venalainen@fmi.fi

Hyväksytty 10.10.2020

Metsät muuttuvassa ilmastossa

Kasvihuoneilmaston voimistumisen seurauksena maapallon ilmasto lämpenee. Suomessa ilmasto on lämmennyt 1800-luvun jälkeen pari astetta, ja ellei kasvihuonekaasujen päästöjä pystytä hillitsemään tehokkaasti, lämpeneminen jatkuu yhä tulevaisuudessa. Ilmastomuutos vaikuttaa monin tavoin Suomen metsiin ja yhteiskuntaamme yleisestikin. Metsiemme kannalta vaikutukset ovat sekä myönteisiä että kielteisiä. Kohoava hiilidioksidipitoisuus sekä lämpenevät ja pitenevät kasvukaudet toisaalta kiihdyttävät metsien kasvua, mutta samalla myös monet metsiä uhkaavat riskit pahenevat.

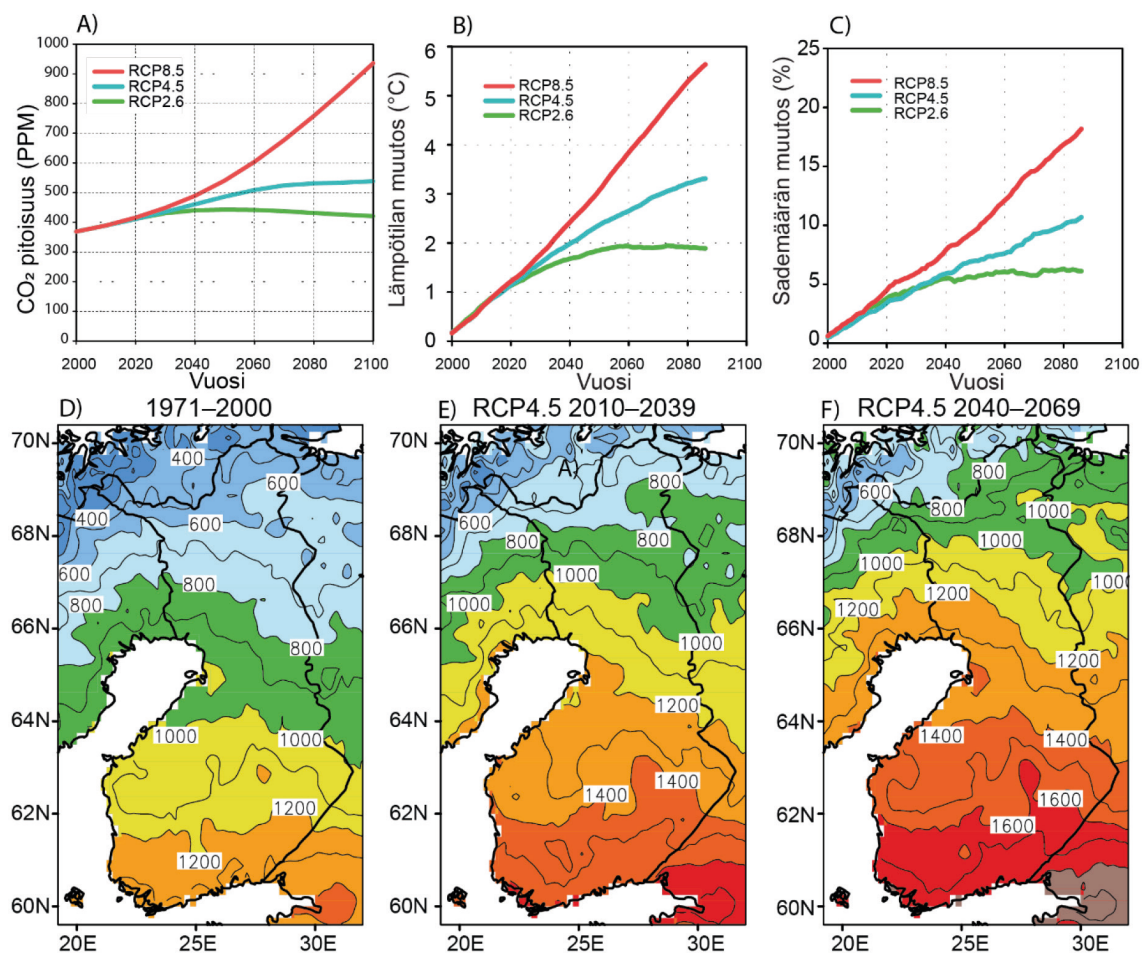
Euroopan unionin asettamien vaatimusten mukaan maankäytön muutoksista ei saa kansallisella tasolla tulla kasvihuonekaasujen lähdeksi; maankäyttöön lasketaan tässä mukaan metsien hiilinielut ja -päästöt. Jos päästöt ylittävät nielut, jäsenvaltio joutuu kompensoimaan nämä päästöt muulla tavoin. Euroopan metsäisimpänä maana metsien rooli ilmastomuutoksen hillinnässä korostuu Suomessa. Viime vuosikymmeninä metsiemme kasvu on lisääntynyt ja metsien puuvaranto on kasvanut huolimatta hakkuumäärien kasvusta.

Metsien puu- ja hiilivarastoja voitaisiin edelleen lisätä rajoittamalla metsien hakkuita tai pidentämällä kiertoaikoja. Tällöin metsien vanhemmat ikäluokat yleistyisivät, ja metsien hiilivarastot kasvaisivat. Puuston ikääntyessä tuulituhon sekä tuhohyönteisten ja sienitautien aiheuttamien tuhojen vaara kuitenkin kasvaisi. Jos lyhempiä kiertoaikoja noudattavilla hakkuilla metsät pidetään keski-ikänsä nuorempina, ne yhtäältä kasvavat nopeasti, mutta toisaalta metsien hiilivarasto purkautuu nopeammin.

Keski-Euroopassa ja Kanadassa on viime vuosikymmeninä koettu laajoja metsätuhoja. Kiinnostava kysymys onkin, kuinka ilmastomuutos tulevaisuudessa vaikuttaa Suomen metsiä uhkaaviin erilaisiin riskitekijöihin. Tässä kirjoituksessa esitämme uusimpaan tieteelliseen tutkimukseen perustuen, miten metsien hyvinvoinnin eri riskitekijöiden ennakoita muuttuvan ilmastomuutoksen vaikutuksesta.

Miten suomen ilmasto muuttuu

Suomen keskilämpötilan arvioidaan kohoavan kuluvan vuosisadan aikana kasvihuonekaasujen päästöjen mukaan joko noin 2 °C, 3 °C tai jopa 6 °C (kuva 1). Arviot muutoksen suuruudesta perustuvat useiden eri ilmastomallien avulla tehtyjen simulaatioiden keskiarvoihin. Vähäisin lämpötilan kohoaminen vastaa sellaista skenaariota, jossa kasvihuoneilmion hillitsemistoimenpiteet onnistuvat maailmanlaajuiset erinomaisesti (RCP2.6-skenaario). Keskimääräinen lämpötilan kohoaminen vastaa hillinnän osittaista onnistumista (RCP4.5-skenaario) ja suurin muutos vaihtoehtoa, jossa kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen epäonnistuisi täydellisesti (RCP8.5). Vuotuisten sademäärien arvioidaan puolestaan kohoavan vastaavien skenaarioiden toteutuessa 6 %, 11 % tai 18 %. Sekä lämpötilojen että sademäärien ennustetut muutokset ovat suurempia talvikuukausina kuin kesällä. Kasvukauden aikana, huhti–syyskuussa, lämpötilan ennakoidaan kohoavan 1–5 °C ja sademäärän lisääntyvän 5–11 %. Lämpenemisen seurauksena kasvukauden tehoisa lämpösumma kasvaa, ja niinpä vuosisadan lopulla RCP4.5-skenaariota toteutuessa terminen kasvukausi olisi 1–1,5 kuukautta pitempi ja tehoisa lämpösumma noin 500 °C vrk suurempi kuin keskimäärin jaksolla 1971–2000.



Kuva 1. a) Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kehitys kolmen eri kasvihuonekaasuskenaarion mukaan sekä vastaava ennustettu b) Suomen keskilämpötilan ja c) vuotuisen sademäärän muutos. RCP4.5-skenaariota vastaava kasvukauden tehoisa lämpösumma d) jaksolla 1971–2000, e) 2010–2039 ja f) 2040–2069. RCP2.6 tarkoittaa noin kahden, RCP4.5 noin kolmen ja RCP8.5 noin kuuden asteen keskilämpötilan nousua Suomessa tämän vuosisadan aikana. (Venäläinen ym. 2020, *Global Change Biology*, <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>).

Ilmastonmuutoksen vaikutus metsien kasvuun suomessa

Metsien kasvua kuvaavien mallisimulaatioiden mukaan Suomen metsien kasvu kiihtyy ilmastonmuutoksen seurauksena enemmän maamme pohjois- kuin eteläosassa. Koivuilla (*Betula* spp. L.) ja männyllä (*Pinus sylvestris* L.) kasvun lisääntyminen on suurempaa kuin kuusilla (*Picea abies* (L.) Karst.). Ilmastonmuutoksen edetessä, jos muutosta ei pystytä hillitsemään, etenkin kuuset ja jossain määrin myös männyt tulevat kärsimään muutoksesta eteläisessä Suomessa. Jos ilmastonmuutos pystytään rajaamaan RCP2.6- tai RCP4.5-skenaarion mukaiseksi ja jos metsiä hoidetaan tehostetusti, voidaan arvioiden mukaan Suomen metsistä hakata vuosittain 80 Mm³ ainespuuta metsävarojen pienenemättä. Jos hakkuut rajoitetaan 60 Mm³:in ja metsänhoitoa tehostetaan, metsävaramme voisivat jopa kaksinkertaistua tulevan 90 vuoden aikana. Tehostetulla metsänhoidolla tarkoitetaan parempikasvuisen jalostetun taimiaineksen käyttöä, metsien lannoitusten lisäämistä nykyisestä ja turvemaiden kunnostusojitusten käyttöä. Näissä arvioissa ei ole otettu huomioon metsätuhojen mahdollista yleistymistä.

Ilmastonmuutoksen vaikutus metsien hyvinvoinnin abioottisiin riskitekijöihin

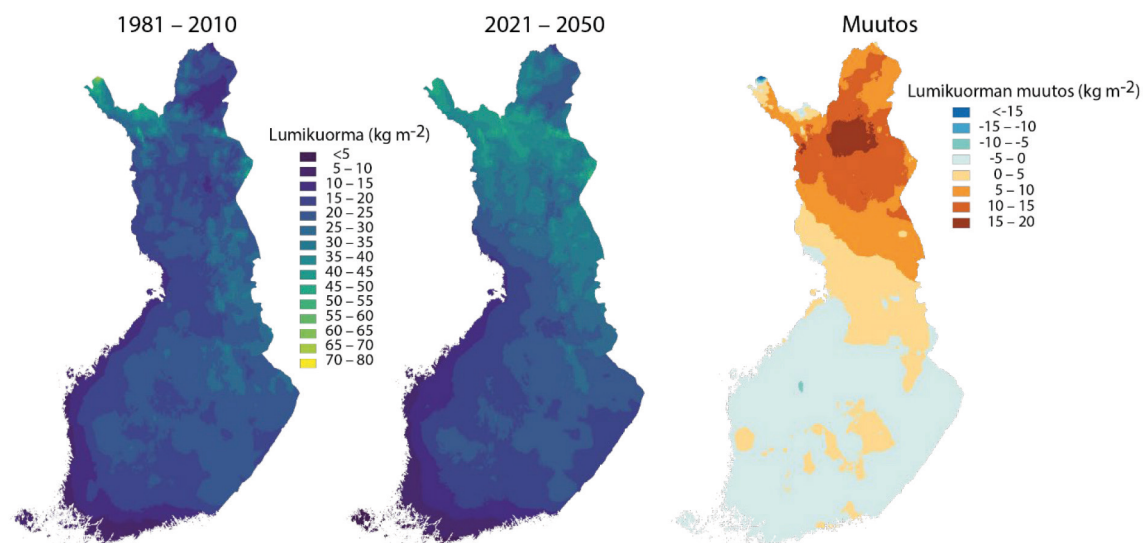
Tuulituhot

Metsien tuulituhot vaihtelevat Suomessa luonnostaan suuresti vuodesta ja vuosikymmenestä toiseen. Merkittäviä muutoksia tuulituhojen riskissä ei ole viimeisten vuosikymmenten aikana havaittu. Ilmastonmuutoksen seurauksena kovien tuulten voimakkuudet Suomen alueella eivät näyttäisi muuttuvan suuresti tulevaisuudessakaan. Jopa suurten kasvihuonekaasupäästöjen RCP8.5-skenaarion toteutuessa kovien tuulten voimakkuudet eivät näyttäisi ilmastomallien tulosten keskiarvon mukaan kasvavan vuosisadan puoliväliin mennessä kuin enintään 3 %. Talvella, ja Pohjois-Suomessa myös keväällä, kovat tuulet voisivat jopa hieman heikentyä. On kuitenkin syytä huomata, että eri ilmastonmuutosmallien antamat arviot tuulten nopeuksien muuttumisesta poikkeavat merkittävästi toisistaan. Osa malleista ennakoii tuulten voimistuvan, osa taas heikentyvän. Lännenpuoleisten tuulten osuus luultavimmin kasvaa entisestään. Vaikka myrskyjen esiintyminen ei suuresti muuttuisikaan, roudan väheneminen ja maaperän kosteuden kasvaminen syystalvella voivat lisätä tuulituhoja. Tosin Etelä- ja Länsi-Suomen syystalven myrskyistä suuri osa sattuu jo nykyisin aikana, jolloin maa on sula tai vain ohuelti roudassa.

Säätekijöiden ohella tuulituhojen vakavuuteen vaikuttaa muun muassa puulaji. Tuulituhojen riski on suurin eteläboreaalisen vyöhykkeen kuusivaltaisissa metsissä ja pienin pohjoisboreaalisen vyöhykkeen männiköissä. Jos metsänviljelyssä suositaan kuusta männyn kustannuksella, tuulituhojen vaara lisääntyy.

Lumituhot

Lumituhot ovat Suomessa tuulituhojen jälkeen seuraavaksi suurin abioottinen metsätuhojen aiheuttaja. Runsas lumen ja huurteen kasautuminen puiden oksille katkoo oksia ja voi myös vioittaa tai katkaista puun rungon. Lumen kertymistä puiden latvuksiin simuloivien mallilaskelmien mukaan lumituhojen mahdollisuus pienenee maan etelä- ja lounaisosissa mutta kasvaisi idässä ja pohjoisessa (kuva 2). Itä- ja Pohjois-Suomen kasvavat lumikuormat näyttäisivät johtuvan ennen kaikkea märän lumen määrän lisääntymisestä.



Kuva 2. Vuoden keskimääräinen suurin simuloitu puiden lumikuorma jaksojen 1981–2010 (vasemmalla) ja 2021–2050 (keskellä) aikana sekä muutos tarkasteltujen kahden jakson välillä (oikealla). Muutos on laskettu RCP4.5-skenaariolle mikä vastaa vajaan parin asteen keskilämpötilan nousua Suomessa tarkastelujaksojen välillä. (Venäläinen ym. 2020, *Global Change Biology*, <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>).

Kuivuus ja metsäpalot

Kohoava lämpötila voimistaa veden haihtumista, ja tämän seurauksena kuivuus vaivaa metsiä entistä useammin. Näin arvioidaan tapahtuvan varsinkin keväällä ja alkukesästä. Lisääntyvä kuivuus haittaa etenkin kuusten kasvua eteläisessä Suomessa. Kuivuudesta kärsivät puut ovat samalla alttiimpia monille biotisille tuhoille.

Metsäpalot eivät ole viime vuosikymmeninä aiheuttaneet Suomessa erityisen laajalti vahinkoa, ja palojen pinta-alat ovat jääneet keskimäärin pieniksi. Likipitäen samanlaisessa ilmastossa Ruotsissa esiintyi kuitenkin vuosina 2014 ja 2018 suuria, paljon tuhoja aiheuttaneita paloja. Esimerkiksi Västmanlandin vuoden 2014 suurpalossa paloala oli 14 000 ha. Lämpimän ja kuivan sään vuoksi vaikeita metsäpalokesiä koettiin Suomessa esimerkiksi vuosina 2006 ja 2018. Näiden kesien sääolosuhteiden perusteella arvioitu metsäpaloriski oli osassa maata niin korkea, että vastaavaa kuuluisi pitkäaikaisten säätilastojen perusteella sattua harvemmin kuin kerran 50 vuodessa. Arvioiden mukaan näin vaikeat metsäpalokesät ovat harvinaisia vielä lähivuosikymmeninä, mutta jos voimakkaimmat lämpenemisskenaariot toteutuvat, vastaavanlaisia keskiä koettaisiin vuosisadan lopulla joka vuosikymmenenä useita. Jos oletamme sääolojen ja metsäpalojen esiintymisen välisen yhteyden pysyvän ennallaan, niin tuolloin suurehkojen eli yli 10 hehtaarin laajuisten metsäpalojen lukumäärä voisi olla nykyiseen verrattuna kaksin–kolminkertainen, mikä samalla lisää myös Ruotsissa tapahtuneiden suurpalojen kaltaisten metsäpalojen riskiä Suomessa.

Metsäpalojen esiintymiseen vaikuttavat sään ohella muutkin tekijät. Esimerkiksi palojen havainnoinnin ja sammutuksen tehokkuus vaikuttavat oleellisesti siihen, kuinka suuriksi palot voivat riistäytyä. On myös esitetty, että Suomen metsien nykyinen rakenne ja tiheä metsätieverkosto rajoittaisivat palojen leviämistä.

Ilmastonmuutoksen vaikutus metsien hyvinvoinnin bioottisiin riskitekijöihin

Kirjanpainaja

Suomen metsissä eniten hyönteistuoja aiheuttaa kaarnakuoriaisiin kuuluva kirjanpainaja (*Ips typographus* L.). Kirjanpainajat hyötyvät kohoavista lämpötiloista, sillä ne parantavat kesän ensimmäisen sukupolven kehittymistä ja eloonjäämistä. Kasvukauden tehoisan lämpösumman ylittäessä 1500 °C vrk tämä tuholainen pystyy tuottamaan samana kesänä myös toisen sukupolven. Esimerkki kirjanpainajan esiintymiselle otollisista olosuhteista koettiin vuosina 2010–2012. Vuonna 2010 kesä oli erittäin lämmin ja kuiva. Kuivuus heikensi puiden vastustuskykyä, ja korkea lämpösumma mahdollisti toisen kirjanpainajasukupolven kehittymisen. Tuona kesänä koettiin rajuilmoja, joiden seurauksena vioittui ainespuuta noin 8,1 Mm³, ja metsiin jäi siis runsaasti syötävää kirjanpainajan toukille. Seuraava eli vuoden 2011 kesä oli niin ikään lämmin, ja lisäksi vuoden lopulla koettu voimakas talvimyrsky lisäsi metsiin jääneen kaatuneen puun määrää. Olosuhteet kirjanpainajien joukkoesiintymiselle jatkuivat suotuisina vielä vuonna 2012, ja kannan huippu koettiin vuonna 2013, jolloin Kaakkois-Suomen metsissä havaittiin kirjanpainajatuhoja laajalti myös elävissä puissa.

1900-luvulla kasvukauden tehoisa lämpösumma oli Etelä-Suomessa tyypillisesti 1200–1400 °C vrk ja 1500 °C vrk:n raja ylittyi vain satunnaisesti. Lämpenemisen seurauksena yli 1500 astevuorokauden lämpösummat ovat kuitenkin jo yleistyneet, ja tämän vuosisadan keskivaiheilla sellaisten kesien todennäköisyys on eteläisessä Suomessa jo noin 80 %, keskisessä Suomessa noin 60 % ja Etelä-Lapissakin 10–40 %. Edellytykset kirjanpainajien joukkoesiintymisille tulevat siis yleistymään hyvin voimakkaasti.

Ilmastonmuutos ja sen mukana kohoava metsätuhojen riski lisää tarvetta torjua kirjanpainajia ennakolta. Nykyisen lainsäädännön mukaan kirjanpainajan torjumiseksi tuulenkaadot ja tuore puutavara on vietävä pois metsästä laissa annettuun päivämäärään mennessä tai muulla tavalla estettävä tuholaisen lisääntyminen, mikäli lisääntymismateriaalia on yli 10 m³ hehtaarilla. Kasvava lämpösumma aiheuttaa painetta aikaistaa näitä päivämääriä.

Muut hyönteistuhot

Tukkimiehentäi (*Hylobius abietis* L.), kärsäkkäisiin kuuluva kovakuoriainen, aiheuttaa Euroopassa suuren tuhoriskin havupuiden uudistusaloilla. Suomessa se on ainoa metsähyönteinen, jonka torjunta taimikoista vaatii jatkuvia aktiivisia toimenpiteitä (taimien kemiallinen suojaus ja maanmuokkaus). Lämpenevät kesät ja talven lyhenevä routajakso jouduttavat juurten nilaa syövien toukkien kasvua aikuisiksi ja pidentävät syöntiaikaa. Uusi sukupolvi ehtii entistä helpommin kuoriutumaan sinä aikana, jona taimet ovat pieniä ja alttiita niitä syövien aikuisten aiheuttamille vaurioille. Kasvavan lämpösumman myötä nopeutuva uuden sukupolven kehitys kasvattaa tukkimiehentäipopulaation kokoa ja lisää entisestään havupuun taimiin kohdistuvaa korkeaa tuhoriskiä.

Lämpenevässä ilmastossa hyönteisten esiintymistä rajoittavia hyvin kylmiä talvia koetaan yhä harvemmin. Talvien lämpeneminen vaikuttaa nopeasti hyönteisiin, joiden munat talvehtivat lumenpinnan yläpuolella. Näistä lajeista esimerkiksi tunturimittarin (*Epirrita autumnata* Bork) ja hallamittarin (*Operophtera brumata* L.) aiheuttamat tuhot Lapin tunturikoivikoissa ovat levinneet uusille alueille. Myös mäntymetsien tärkeä neulastuholainen, ruskomäntypistiäinen (*Neodiprion sertifer* Geoffr.), voi yleistyä Itä- ja Pohjois-Suomessa lämpenevien talvien seurauksena. Osa neulastuhoja aiheuttavista hyönteisistä talvehtii koteloina eikä munina. Tähän ryhmään kuuluu joukko lajeja, jotka ovat aiheuttaneet suuria tuhoja muualla Euroopassa mutta tähän asti Suomessa vain satunnaisesti. Lämpösummien kasvaessa Suomessa lähelle eteläisempien alueitten nykyisiä tyypil-

lisiä arvoja tällaisten tuholaisten esiintyminen voi lisääntyä myös täällä. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi mänty-yökkönen (*Panolis flammea* Denis & Schiffermüller), mäntymittari (*Bupalus piniarius* L.), tähtikudospistiäinen (*Acantholyda posticalis* Matsumuru) ja pikkumäntypistiäinen (*Diprion pini* L.). Vuosituhannen taitteessa tavattiin ensikertaa hyvin laaja pilkkumäntypistiäsen epidemia Suomessa.

Puiden taudinaiheuttajat

Juurikäävät

Taloudellisesti tärkein tautien aiheuttaja Suomen metsissä on juurikäpä (*Heterobasidion* spp. Bref.). Se on tärkein puuta lahottava sieni muunkin Euroopan havumetsissä ja jopa maailmanlaajuisesti. Suomessa esiintyy kahta eri juurikäpälajia, männynjuurikäpää (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) ja kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum* Niemelä & Korhonen). Männynjuurikäpä on mäntymetsien tyvitervastaudin aiheuttaja, jota esiintyy Etelä-Suomessa. Kuusenjuurikäpä on yleisempi kuin männynjuurikäpä ja se aiheuttaa puolestaan maannousemana tunnettua tyvilahoa kuusimetsissä. Tyvilaho on ollut tyypillisesti Etelä-Suomen kuusikoiden ongelma. Ilmastonmuutoksen seurauksena kohoava lämpötila lisää kuusenjuurikäävän itiöiden tuotantoa ja nopeuttaa sienien rihmaston kasvua. Infektoituvien kuusten määrän arvioidaan tällöin lisääntyvän. Roudan väheneminen lisää metsänkorjuun yhteydessä tapahtuvaa juurten vaurioitumista ja altistaa entisestään puuta lahottajasiemille.

Juurikäpää torjutaan havumetsien sulan maan ajan hakkuiden yhteydessä kantokäsittelyllä. Ilmaston lämpenemisen myötä torjunta-aika pitenee ja suurempi osa maasta tulee käsittelyn piiriin.

Muut taudinaiheuttajat

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta muihin Suomen metsäpuiden taudinaiheuttajiin tiedetään hyvin vähän. Männyllä versosurmaa aiheuttava surmakka-sieni (*Gremmeniella abietina* (Lagerb.) M. Morelet) on saanut aikaan laajoja versosurmaepidemioita Ruotsissa ja Suomessa. Ilman kosteus surmakan itiöiden leviämisen aikaan vaikuttaa taudin esiintymiseen. Laajoja tautiepidemioita esiintyy tyypillisesti kosteiden ja viileiden keväiden jälkeen. Keväiden muuttuessa lämpimämmiksi ja kuivemmiksi versosurman esiintymisen edellytykset näin luultavimmin heikkenevät.

Nisäkkäät

Hirvet (*Alces alces* L.) aiheuttavat laajoja tuhoja koivu- ja mäntymetsissä. Tämä on johtanut siihen, että kuusta istutetaan kuivahkoille kankaillekin, mitkä luontaisesti sopisivat paremmin männyn kasvatukseen. Hirvikannan laajuutta säädellään metsästyksellä, ja sen vuoksi ilmastonmuutoksen vaikutusta hirvien aiheuttamiin tuhoihin on vaikea arvioida. Lumipeiteajan ja lumen syvyyden väheneminen saattaisivat lisätä hirvituhoja. On myös mahdollista, että nopeasti yleistyvät muut pienemmät hirvieläimet sytjättävät ajan kuluessa osan eteläisen Suomen hirvikannasta. Lounais-Suomessa valkohäntäkauriiden (*Oedocoileus virginianus* Zimmermann) kanta on kasvanut vuoden 2010 jälkeen eksponentiaalisesti ohittaen paikoin moninkertaisesti hirvien määrän. Tällainen tiheä kauriskanta voi aiheuttaa vakavia ongelmia nuorissa lehtipuumetsissä.

Lumipeite voi vaikuttaa myös pienten nisäkkäiden esiintymiseen. On mahdollista, että ilmastonmuutoksen seurauksena myyräkantojen vaihtelut tasaantuvat ja samalla myyrrien määrä kasvaisi. Tapahtuuko näin, on kuitenkin toistaiseksi avoin kysymys.

Uudet bioottiset metsätuhojen aiheuttajat

Ilmaston lämpenemisen edetessä kuvaan astuu myös uusia mahdollisia riskitekijöitä. Esimerkiksi havununna (*Lymantria monacha* L.), kuusen sekä männyn neulasia syövä ja laajoja tuhoja Keski-Euroopassa aiheuttava yöperhonen, on levittäytynyt pohjoisemmaksi. Havununnat ovat aiemmin olleet Suomessa hyvin harvinaisia, koska niiden munat eivät kestä yli 30 asteen pakkasia. Talvien lämpenemisen seurauksena niitä tavataan kuitenkin nykyisin runsaasti jo koko eteläisessä Suomessa.

Havununna on laji, joka on itse levittäytynyt pohjoiseen ilmaston lämpenemisen myötä. Kansainvälisen kasvikaupan seurauksena Suomeen voi tulla uusia tuhonaiheuttajia myös muilta mantereilta. Kylmä ilmastomme on toistaiseksi pitkälti suojellut maattamme näiltä vieraslajeilta.

Uusista puiden taudeista ja tuholaisista on kuitenkin olemassa jo esimerkkejä. Saarnensurman (*Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Baral, Queloz & Hosoya.) aiheuttama oksiston lakastuminen on tuhonnut saarnipuita eteläisessä Suomessa. Toinen esimerkki haitallisesta vieraslajista on sarvijääriin kuuluva aasianrunkojäärä (*Anoplophora glabripennis* Motschulsky), jota tavattiin vuosina 2010 ja 2015 Etelä-Suomesta. Maailmalta löytyy lukuisia esimerkkejä metsätuhoja aiheuttavien vieraslajien leviämisestä uusille alueille. Tätä pidetäänkin yhtenä metsäekosysteemien terveyden ja toiminnan suurimmista uhkakuvista.

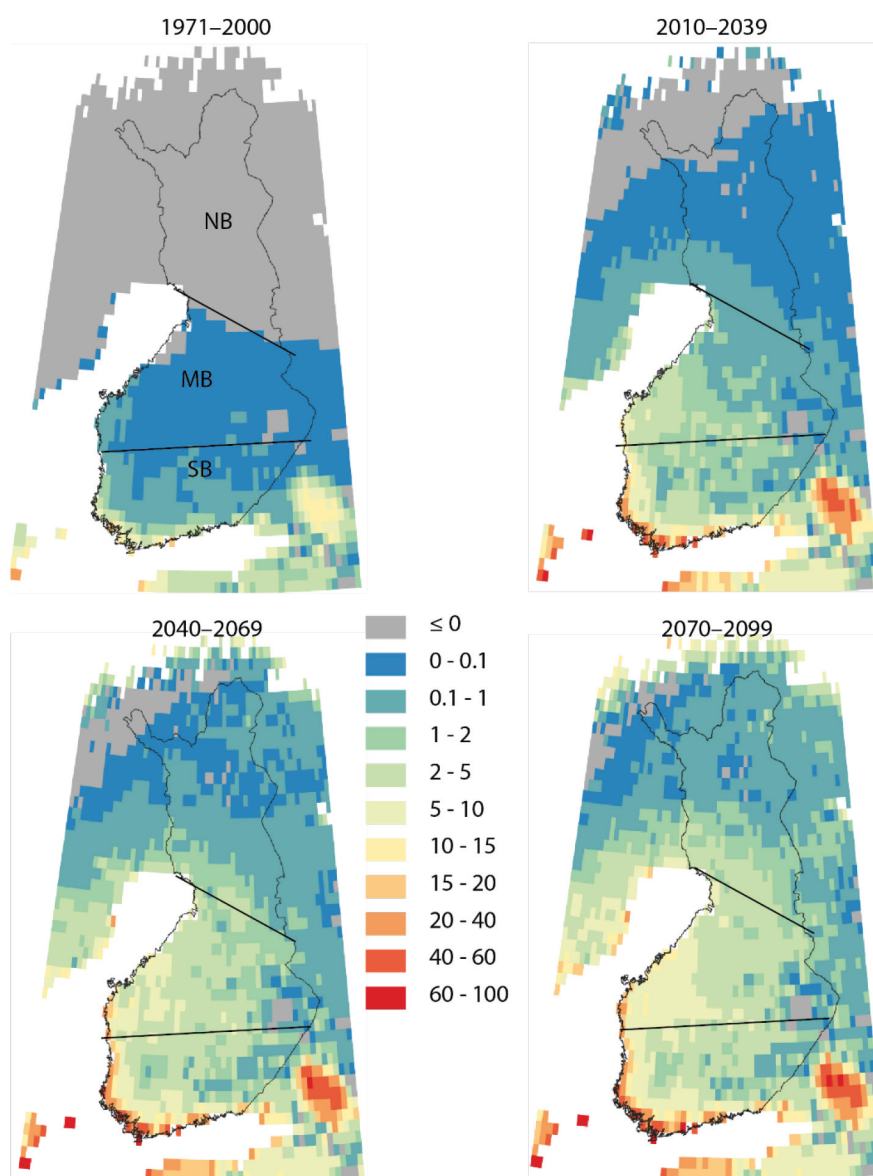
Suomen metsien tuhoriskit muuttuvassa ilmastossa: kokonaiskuva ja toimintasuosituksia

Ilmastonmuutoksen vaikutusten ennakointi ja kestävä metsätalouden toteuttaminen edellyttävät kattavia tietoja metsien kasvuedellytyksistä ja metsiä uhkaavista vaaroista. Jos kasvihuonekaasujen päästöjen hillintä epäonnistuu täydellisesti, voi Suomen keskilämpötila kohota ennen vuosisadan loppua jopa 6 °C verrattuna jakson 1981–2010 ilmastoon. Jos hillintätoimissa onnistutaan, jää lämpeneminen noin puoleentoista asteeseen. Pitenevät kasvukaudet ja korkeampi hiilidioksidipitoisuus nopeuttavat metsien kasvua Suomessa. Kuitenkin Etelä- ja Keski-Suomessa kesälämpötilojen voimakas kohoaminen ja kuivuusjaksot voivat heikentää etenkin kuusen kasvuedellytyksiä. Vaikka tuuli-ilmastoa ei juuri muuttuisikaan, lisää roudan väheneminen tuulituhojen vaaraa. Tämä korostaa tarvetta suunnitella hakkuut siten, että tuhojen riski ei kasvaisi. Itä- ja Pohjois-Suomessa oikea-aikaisten harvennushakkuiden tärkeyttä korostaa myös kasvava lumituhojen mahdollisuus. Metsien lannoitusta tulisi välttää pahimmilla lumituhoalueilla, jotka sijaitsevat tyypillisesti korkeammalla kuin 200 m merenpinnan yläpuolella. Kuivuuden yleistymisen lisäksi myös laajojen metsäpalojen mahdollisuutta. Tälläkin voi olla vaikutusta metsänhakkuisiin kaikkiin paloherkimmillä alueilla.

Lämpimämpi ilmasto altistaa etenkin havumetsiä bioottisten tuhojen aiheuttajille, joita ovat muun muassa kaarnakuoriaiset ja juurikäppä. Pahimmassa tapauksessa Keski-Euroopassa koetun kaltaiset laajat tuhot voisivat yleistyä myös Etelä- ja Keski-Suomessa, ja tähän tulisi varautua esimerkiksi kasvattamalla metsissä useita puulajeja sekaisin. Tihenevä hirvieläinkanta voi kuitenkin tuottaa vakavia ongelmia etenkin lehtipuuston lisäämiselle. Myös aikaisemmin vähämerkitykselliset tai täysin uudet tuhojen aiheuttajat, kuten havununna, yleistyvät lämpenemisen seurauksena. Kohoava tuhoriski lisää tuhojen ennakoinnin tarjunnan tarvetta, kuten kirjanpainajalle lisääntymismateriaaliksi sopivan puutavaran nykyistä nopeampaa poisvientiä metsistä hakkuiden jälkeen ja hakkuiden yhteydessä kantokäsittelyllä tapahtuvaa juurikäävän torjuntaa nykyistä laajemmalla alueella. Lisääntyvä torjuntatarve lisää metsätalouden kustannuksia.

Ilmastonmuutos todennäköisesti lisää sellaisia tilanteita, joissa useista eri tekijöistä aiheutuvat tuhot kärjistyvät toistensa vaikutusta. Tällainen erityisen haitallinen tapahtumasarja olisi

esimerkiksi tilanne, jossa voimakkaan myrskyn seurauksena metsissä syntyy paljon tuulituhoja, ja merkittävä osa vahingoittuneesta puusta jäisi korjaamatta ennen seuraavaa kesää. Jos seuraavat kesät vielä ovat lämpimiä, eli kasvukauden tehoisa lämpösumma ylittää 1500 °C vrk, olosuhteet kirjanpainajien massaesiintymiselle ovat todella otolliset. Laskelmien mukaan ilmastonmuutos moninkertaistaa tällaisen tuhoisan tapahtumaketjun esiintymisen todennäköisyyden (kuva 3). Lisäksi kesien yleistyvä kuivuus heikentää kuusten vastustuskykyä kirjanpainajien aiheuttamia tuhoja vastaan. Keski-Euroopassa on kärsitty laajoista kuusikoiden kirjanpainajatuhoista, jotka ovat vaikuttaneet suuresti sikäläiseen metsätalouteen. Lämpenemisen seurauksena tällaisten tuhojen voidaan siis pelätä yleistyvän myös Suomessa.



Kuva 3. Suurten kirjanpainajatuhojen otollisten olosuhteiden esiintymistodennäköisyys (prosentteina). Todennäköisyys on laskettu kertomalla laajojen tuulituhojen todennäköisyys todennäköisyydellä, että seuraavan kasvukauden tehoisa lämpösumma ylittää 1500 °C vrk. Arvio perustuu RCP4.5 ilmastonmuutoskenaarioon, joka vastaa noin kolmen asteen keskilämpötilan nousua Suomessa kuluvan vuosisadan aikana. Kuvaan on merkitty myös etelä- (SB), keski- (MB) ja pohjoisboreaalisen (NB) vyöhykkeen rajat vuosien 1971–2000 tilanteen mukaan. (Venäläinen ym. 2020, *Global Change Biology*, <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>).

Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsiin riippuvat tulevan muutoksen voimakkuudesta, joka puolestaan riippuu kasvihuonekaasujen päästöjen kehityksestä. Kansainvälisesti tavoitteeksi on asetettu maapallon keskilämpötilan nousun rajaaminen kahteen asteeseen, mikä edellyttäisi päästöjen nopeaa maailmanlaajuisia hillintää. Päästöjä ei kuitenkaan ole toistaiseksi pystytty rajoittamaan tavoitteiden mukaisesti, joten lämpenemisen pysäyttäminen kahteen asteeseen vaikuttaa tällä hetkellä vaikeasti saavutettavalta tavoitteelta. Hiiltä ilmakehästä sitovilla metsillä on oma tehtävänsä ilmastonmuutoksen hillinnässä, ja aiheesta käydäänkin maailmanlaajuisesti vilkasta keskustelua. Samalla kuitenkin on tärkeää, että metsät säilyvät myös tulevina vuosikymmeninä niin taloudellisen kuin henkisenkin hyvinvoinnin lähteenä.

Kiitokset

Suuri osa artikkelissa esitetyistä tuloksista pohjautuu työhön, joka on tehty Suomen Akatemian yhteydessä toimivan Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamassa FOR-BIO-hankkeessa (päättös 314224).

Kirjallisuutta

- Battisti A., Larsson S. (2015). Climate change and insect pest distribution range. Julkaisussa: Björkman C., Niemelä, P. (toim.). Climate change and insect pests. CABI, Wallingford. s. 1–15.
- Hlásny T., Krokene P., Liebhold A., Montagné-Huck C., Müller J., Qin, H., Viiri H. (2019). Living with bark beetles: impacts, outlook and management options. From science to policy 8. European Forest Institute. 50 s.
- Melin M., Viiri H., Tikkanen O.-P., Elfving R., Neuvonen S. (2020). From a rare inhabitant into a potential pest – status of the nun moth in Finland based on pheromone trapping. *Silva Fennica* 54(1) article 10262. <https://doi.org/10.14214/sf.10262>.
- Ruosteenoja K., Jylhä K., Kämäräinen M. (2016). Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51(1): 17–50. Verkko-osoite: http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf.
- Venäläinen A., Lehtonen I., Laapas M., Ruosteenoja K., Tikkanen O.-P., Viiri H., Ikonen V.-P., Peltola H. (2020). Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: a literature review. *Global Change Biology* 26(8): 4178–4196. <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>.