

Madonluvut kuusikoille? – Varautuminen tulevaisuuden kuusituhoihin (Sprucerisk)

Loppuraportti 2021–2023

30.11.2023

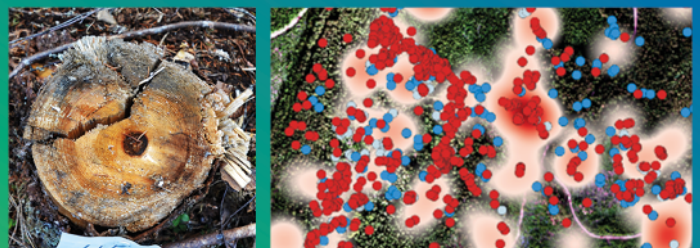
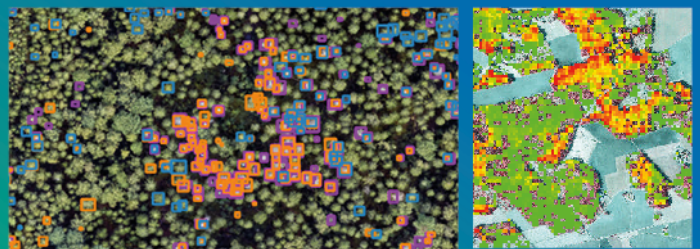
Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa, Mikko Pelto-Arvo,
Johanna Tuviala, Diana-Cristina Simon, Olli-Pekka
Tikkanen, Samuli Junntila, Antti Kilpeläinen & Heli
Peltola (Itä-Suomen yliopisto)

Eija Honkavaara, Roope Näsi, Heini Kanerva,
Emma Turkulainen & Madeleine Östersund
(Paikkatietokeskus, Maanmittauslaitos)

Henna Höglund & Juho Kokkonen (Suomen
metsäkeskus)

Tiina Törmänen, Henry Schneider, Varpu Kuutti,
Asta Valamo & Riina Hautala (Tapio oy)

Jussi Lintunen, Matti Hyyrynen & Jussi Uusivuori
(Luonnonvarakeskus)



**Nappaa
hiilestä
kiinni**

MAANKÄYTTÖSEKTORIN
ILMASTORATKAISUT

Yhteenveto hankkeesta

Madonluvut kuusikoille? – Varautuminen tulevaisuuden kuusituhoihin (Sprucerisk) on maa- ja metsätalousministeriön rahoittama hanke, joka toteutettiin vuosina 2021–2023 Itä-Suomen yliopiston (UEF) johdolla yhteistyössä Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen (MML), Luonnonvarakeskuksen (Luke), Suomen metsäkeskuksen (SMK) ja Tapio oy:n kanssa. Hankkeen vetäjänä toimi Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa UEFin metsätieteiden osastolta. Hanke on osa maa- ja metsätalousministeriön keväällä 2020 käynnistämää maankäyttösektorin Hiilestä kiinni -ilmastotoimenpidekokonaisuutta, jolla pyritään vähentämään maa- ja metsätalouden ja muun maankäytön kasvihuonekaasupäästöjä ja vahvistamaan hiilinieluja ja -varastoja. Konsortiolle myönnettiin enintään 348 000 € erityisavustus, mikä kattoi enintään 70 % kokonaiskustannuksista.

UEF (dos. Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa ryhmineen) osallistui kaikkiin työpaketteihin ja oli vastuussa kirjanpainajan ja kuusen juurikäävän maastossa tapahtuvasta puusto-oireiden arvioinnista ja tähän aineistoon perustuvien riskimallien tuottamisesta. MML (prof. Eija Honkavaara ryhmineen) oli vastuussa kaukokartoitus- ja pienoishelikopterimenetelmien kehittämisestä sekä tekoälyn soveltamisesta kuusen tuholuokituksessa ja kuolleiden puiden arvioinnissa. MML osallistui myös riskimallien kehittämiseen. Luke (erikoistutkija Jussi Lintunen ryhmineen) tarkasteli kirjanpainajatuhojen vaikutuksia metsätalouden taloudellisiin tuloksiin ja hiilensidonnan hyötyyn taloustieteellisellä optimointimallilla. Mallinnus rajattiin yksinkertaistamisen vuoksi voimakkaaseen kirjanpainajatuhoon, jolloin metsä uudistetaan. SMK (MMM Henna Höglund ja MMM Juho Kokkonen) osallistui käytännönläheisten tuhoaineistojen kokoamiseen, tuhotietoisuuden lisäämiseen, verkko- ja maastokurssien järjestämiseen, tuhotiedon hyötykäyttöön ja oli vastuussa kansalaisia palvelevan tiedon kehittämisestä. Tapio oy (MMM Henry Schneider ryhmineen) kehitti metsätuhotilanteen eri vaiheisiin kohdistuvaa toimintaa metsätalouden toimijoiden välisessä yhteistyössä, jolloin painopiste on ennaltaehkäisyssä. Tapio oy:n vastuulla oli myös hankkeen kotisivujen ylläpito ja hanketiedotus.

Hankkeessa luotiin menetelmiä ja käytäntöjä, joilla parannetaan kuusimetsien ilmastokestävyyttä metsien terveyden näkökulmasta. Tulokset edistävät ilmastonmuutokseen sopeutumista luomalla menetelmiä, joilla voidaan nopeasti reagoida kuusikoiden tuhoriskien muutoksiin. Tuhojen hillintä vahvistaa kuusikoiden elinvoimaa ja hiilensidontakykyä. Hankkeessa tehdyt paikkatietoaineistot, mallit, toimintatavat, ohjeet ja neuvontamateriaalit mahdollistavat metsäalan toimijoiden kustannustehokkaan toiminnan ja yhteistyön kuusikoiden terveyttä edistävien toimenpiteiden kohdentamiseksi.

Hankkeessa kehitettiin kirjanpainajalle tuhoriskien ennakointi- ja riskinarviointimenetelmät ja selvitettiin pilottitutkimuksen avulla kuusen juurikäävän tunnistamista kaukokartoituksen keinoin. Työn keskeisiä tavoitteita olivat:

- Kehitettiin kaukokartoitukseen perustuva kuusituhojen vakavuusasteen luokittelumenetelmä ja stressitilan varhaisvaroitus.
- Kehitettiin paikkaan sidottuja tuhonaiheuttajien runsausestimaatteja ja leviämisen malleja sekä riski-indekseihin perustuvia metsikkö- ja maisematason riskimalleja.
- Integroititiin tuhotieto metsän kiertoajan, hiilitaseen ja taloudellisen arvon malleihin, joita käytetään metsätaloudellisen päätöksenteon tukena.
- Vahvistettiin metsäekosysteemin hiilinieluja tuhojen riskinhallinnan, varhaisvaroituksen ja kestävien metsänhoitomethodien avulla.
- Toteutettiin kehitystyön lopputuotteina suomalaisille metsänomistajille ja yrityksille suunnatut neuvontapalvelut ja koulutettiin metsänomistajia ja metsäammattilaisia metsänterveyden edistämiseen.

Tutkimustyö toteutettiin yhteistyössä viidellä eri alueella (Ruokolahti, Iitti, Orivesi, Helsingin Paloheinä ja Koli). Ruokolahden tutkimusalueilta kerättiin tietoa vuoden 2010 myrskytuhoon aiheuttamasta kaarnakuoriaisriskistä kahdeksan vuoden aikasarjan avulla, missä selvitettiin tuholaisen populaatioiden runsastumista ja sen aiheuttamia puuston vaurio-oireita ja metsikködynamiikan muutosta verraten tuhoja suojelu- ja talousmetsissä myös kaukokartoituksen avulla. Iitissä työ keskittyi ennallistamiskohteiden mahdolliseen vaikutukseen kirjanpainajatuhojen riskiin. Työssä käytettiin maastotyön ohella monilähteen valtakunnan metsien inventoinnin aineistoja (MVMI) ja vapaasti saatavia ympäristötietoja. Orivedellä arvioimme juurikäävän oireita sekä pystypuustosta että talvihakkuiden jälkeen paikannetuista kannoista. Kohdekuvioilla toteutettiin dronekuvaukset. Helsingin Paloheinässä seurattiin kuusien heikentymistä, jolloin puiden terveydentila ja oireet luokiteltiin maastossa usean kerran kasvukauden aikana. droneen avulla kerättiin toistuvaa aineistoa puuston heijastaman aallonpituuden muutoksista. Kolin kansallispuistossa tutkittiin lumituhojen ja kuivuuden vaikutusta kaarnakuoriaistuhon etenemiseen sekä maastossa että dronen ja etäohjattavan ilmalaivan avulla. Puuston kunto mitattiin ja arvioitiin viikoittain ja seurattiin tuholaisen runsautta feromoniansojen avulla puiston alueen ulkopuolella.

UEF keräsi tuhoaineistoja (kaarnakuoriaisseurannan puusto-oireet, tuholaikkujen muutos, juurikäävän oireet) eri metsänkäsittelyä edustavilla kohteilla, jonka avulla kehitettiin vaurioindekseihin perustuva terveydentilan ja metsikön dynaamista muutosta kuvaava menetelmä. Suojelualueilla puuston oireet ja kuolleisuus olivat voimakkaampia kuin talousmetsissä. Kirjanpainajan tuhoriskiä ennustettiin logistisen regressiomallin avulla, jossa avoimen paikkatietoaineiston avulla saatu oikeinluokitusprosentti oli 82 %. Kirjanpainajatuhojen riskiä selittävät muuttujat olivat korkeus merenpinnan yläpuolella, etäisyys avoimeen alueeseen, lehtipuuden latvuspeitto, kuusitukin tilavuus ja rinteen

ilmansuunta. Rungas lehtipuiden latvuspeitto ja metsän sijainti etelärinteessä vähensivät tuhoriskiä. Sijainti alavalla maalla, lyhyt etäisyys avoimeen alueeseen ja suuri kuusitukin tilavuus lisäsivät tuhoriskiä. Käynnistimme metsän kehitysennusteita kuvaavan mallin (iLand) muuntamista Suomen olosuhteisiin, mikä työ riskimallien kehittämisen ohella jatkuu Suomen Akatemian MULTIRISK-hankkeessa. Kolilla tehtävä kaarnakuoriaistuhojen leviämisen mallinnus ja kaukokartoitus jatkuu EU-rahoitteisessa RESDINET-hankkeessa.

dronekampanjoissa kerätyistä datoista MML käsitteli Ruokolahden ja Paloheinän aikaisemmat kaukokartoitusaineistot parhaillaan tehtäviin tutkimusjulkaisuihin ja järjesteli ilmakehän aikasarjaa myrskyvuosilta sekä Sentinel-2-satelliittiaineistojen avulla metsänterveyden ennusteita. Menetelmäkehitys sisälsi laajan, moniaikaisen kaukokartoitusaineiston keräämisen ja prosessoinnin sekä ohjattujen koneoppimismenetelmien kehittämisen. Luke arvioi satunnaisen kirjanpainajatuhon keskimääräisiä kustannuksia ja vaikutuksia metsänkäsittelyyn, erityisesti tavoitekiertoaikaan. Tarkastelut tehtiin riski- ja reaktioskenaarioita käyttäen. Riskiskenaario määrittä kaarnakuoriaistuhon todennäköisyyden ja reaktioskenaario tuhoepisodista seuraavien puutavaralajitappioiden laajuuden. Puutavaralajitappioiden kasvaessa tuhoriskin realisoituminen voi aiheuttaa niin merkittävän taloudellisen tappion, että sen vaikutukset ovat melko suuret myös odotettuun paljaan maan arvoon. SMK valmisti kirjanpainajaesiintymien omavalvontaohjeita ja toteutti ja verkko- ja maastokurssimateriaaleja metsänomistajille. Tapio oy toteutti hankeviestinnän ja kotisivujen ylläpidon sekä laati tarkat toimintamallit biotoisen metsätuhon eri vaiheille ja määrittä kuhunkin vaiheeseen kuuluvat tehtävät eri toimijoille. Tavoitteena oli toimijoiden välinen työnjako ja sujuva tiedonkulku eri toimijoiden välillä sekä metsänomistajien tuhotietouden lisääminen.

Kaukokartoitusaineistojen luokittelua koskeva tutkimus tuotti aineistoja, analyysimenetelmiä ja puuston terveystietoja. Aineistot dokumentoivat kirjanpainajatuhojen etenemisen tutkimusalueilla ja niitä voidaan hyödyntää jatkotutkimuksissa riskimallinnuksen kehittämisessä eri mittakaavatasoilla. Aineistot olivat keskeisiä kaukokartoitusmenetelmien kehittämistä ajatellen. Koneoppimisen avulla mm. kuolleiden puiden ja terveystietojen valmistaminen voi palvella eri sidosryhmien tarpeita. Kuusten ja metsiköiden vaurioindeksit palvelevat käytännön metsätaloutta tuottamalla käytännönläheisen menetelmän jokaiselle metsänomistajalle. Ymmärtämällä oireiden vakavuusasteen muutoksen metsänomistaja voi ennakolta varautua etenevään metsätuhoon ja suunnitella metsätaloudellisia toimenpiteitä. Indeksit edistävät myös riskimallien ja -ennusteita ja toimivat kaukokartoitusmenetelmien maastotietona. Logistisen regressiomallin avulla luotiin paikkatieto-ohjelmassa riskikartta, jossa jokaiselle tutkimusalueelle peittäväle hilaruudulle laskettiin kirjanpainajatuhon todennäköisyyttä kuvaava prosentti. Eri metsikkömuuttujia yhdistelemällä voidaan tuottaa eri aikavälin ja mittakaavan ennusteita halutulle kohdealueelle Suomessa, mikä auttaa metsätalouden päätöksentekoa ja sopeutumista muuttuvaan ilmastoon. Hiilensidontahyödyt luovat taloudelliset kannustimet tavoitekiertoaikojen pidentämiselle, vaikka tuhoriskin myötä näitä

tavoitekiertoaikoja ei aina saavutetakaan. Tuhoriskit heikentävät hiilensidontaan kannustavien ohjauskeinojen nieluvaikutusta, mutta eivät poista sitä.

Hanke tuotti 3 tutkimusjulkaisua, 13 esitelmää, 9 suurelle yleisölle suunnattua kirjoitusta, 5 käsikirjoituksena olevaa tutkimusjulkaisua ja 5 maisterintutkielmaa.

Summary of the project

Worm numbers for spruce forests? - Preparing for future spruce damages (Sprucerisk) is a project funded by the Ministry of Agriculture and Forestry of Finland, which was implemented in the years 2021–2023 under the leadership of the University of Eastern Finland (UEF) in cooperation with the Finnish Geospatial Research Institute FGI (MML), Natural Resources Institute (Luke), The Finnish Forest Center (SMK) and Tapio oy. The project leader was Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa from UEF's Department of Forestry. The project is a part of the climate action package for the land use sector - Catch the carbon, launched by the Ministry of Agriculture and Forestry in spring 2020, which aims to reduce greenhouse gas emissions from agriculture and forestry and other land use and strengthen carbon sinks and stores. The consortium was granted a special grant of a maximum of €348,000, which covered a maximum of 70% of the total costs.

UEF (associate professor Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa and her group) participated in all work packages and was responsible for the evaluation of *Ips typographus* and spruce root rot symptom evaluation in the field and for producing risk models based on this data. MML (Prof. Eija Honkavaara and her group) was responsible for the development of remote sensing and miniature helicopter methods, as well as the application of artificial intelligence in spruce damage classification and the evaluation of dead trees. MML also participated in the development of risk models. Luke (with specialist researcher Jussi Lintunen's group) examined the effects of *I. typographus* damage on the financial results of forestry and the benefits of carbon sequestration using an economic optimization model. For the sake of simplification, the modeling was limited to a strong *I. typographus* damage, after which the forest is regenerated. SMK (MMM Henna Höglund and MMM Juho Kokkonen) participated in compiling practical forest damage materials, increasing damage awareness, organizing online and field courses, utilizing damage information and was responsible for developing information that serves citizens. Tapio oy (MMM Henry Schneider and his group) developed activities aimed at different stages of the forest damage situation in cooperation between forestry operators, where the focus is on prevention. Tapio oy was also responsible for maintaining the project's website and project information.

In the project, methods and practices were created to improve the climate resilience of spruce forests from the perspective of forest health. The results promote adaptation to

climate change by creating methods that enable quick reactions to changes in the damage risks of spruce trees. Controlling damage strengthens the vitality and carbon sequestration capacity of spruce trees. The geospatial data materials, models, operating methods, instructions and advisory materials created in the project enable the cost-effective operation and cooperation of forestry operators in targeting measures that promote the health of forests.

In the project, pest risk forecasting and risk assessment methods were developed for *I. typographus* and the identification of spruce root-rot by means of remote sensing was investigated with the help of a pilot study. The main goals of the work were:

- A method for classifying the severity of spruce forest damages based on remote sensing and an early warning of the stress state was developed.
- Site-bound pest abundance estimates and spread models were developed, as well as forest and landscape level risk models based on risk indices.
- The damage information was integrated into models of the forest's cycle time, carbon balance and economic value, which are used to support forestry decision-making.
- The carbon sinks of the forest ecosystem were strengthened with the help of damage risk management, early warning and sustainable forest management methods.
- Advisory services aimed at Finnish forest owners and companies were implemented as end products of the development work, and forest owners and forest professionals were trained to promote forest health.

The research work was carried out in collaboration in five different areas (Ruokolahti, Iitti, Orivesi, Paloheinä in Helsinki and Koli). In the research areas of Ruokolahti, information was collected about the bark beetle risk caused by the storm damage in 2010 using an eight-year time series, where the abundance of the pest's populations and the damage symptoms of the trees caused by it and the change in stand dynamics were compared to the damage in conservation and commercial forests also using remote sensing. At Iitti, the work focused on the possible impact of restoration sites on the risk of *I. typographus* damage. In addition to fieldwork, the work used data from the multi-source national forest inventory (MVMI) and freely available environmental data. In Orivesi, we evaluated root rot symptoms both in standing trees and in stumps located after winter felling. Drone photography was carried out with target patterns. In Helsinki's Paloheinä, the weakening of spruce trees was monitored, and the health status and symptoms of the trees were classified in the field several times during the growing season. With the help of drones, repeated data was collected about the changes in the wavelength reflected by the trees. In Koli National Park, the effect of snow damage and drought on the progress of the bark

beetle infestation was studied both on the ground and with the help of a drone and a remote-controlled airship. The condition of the stand was measured and evaluated weekly, and the abundance of the pest was monitored using pheromone traps outside the park area.

UEF collected damage data (tree symptoms of bark beetle infestation, change of pest patches, symptoms of root rot) at sites representing different forest treatments, and with this data a method was developed based on damage indices to describe the dynamic change of the health status and the stand. In protected areas, tree symptoms and mortality were stronger than in commercial forests. The risk of the *I. typographus* damage was predicted using a logistic regression model, where the accuracy obtained using open spatial data was 82%. The variables explaining the risk of *I. typographus* damage were the height above sea level, the distance to an open area, the crown cover of deciduous trees, the volume of the spruce log and the direction of the slope. The abundant canopy cover of deciduous trees and the location of the forest on the southern slope reduced the risk of damage. The forest's location at low elevation, the short distance to the open area and the large volume of the spruce log increased the risk of damage. We started the conversion of the model (iLand) describing forest development forecasts to Finnish conditions, which work, along with the development of risk models, continues in the MULTIRISK project of the Academy of Finland. Modeling and remote sensing of the spread of bark beetle damage at Koli continues in the EU-funded RESDINET project.

From the data collected in the drone campaigns, MML processed the previous remote sensing data of Ruokolahti and Paloheinä for research publications that are currently being made, and organized an aerial photo time series from storm years and forest health forecasts using Sentinel-2 satellite data. Method development included the collection and processing of extensive, multi-temporal remote sensing data and the development of guided machine learning methods. Luke estimated the average costs and effects of random *I. typographus* damage on forest processing, especially on the target rotation period. The reviews were made using risk and reaction scenarios. The risk scenario determined the probability of bark beetle infestation, and the reaction scenario determined the extent of timber grade losses following the *I. typographus* damage. As timber grade losses increase, the realization of the destruction risk can cause such a significant economic loss that its effects are quite large also on the expected value of bare land. SMK prepared self-monitoring instructions for *I. typographus* occurrence and implemented *I. typographus* online and field course materials for forest owners. Tapio oy carried out the project communication and website maintenance and prepared precise operating models for the different stages of biotic deforestation and assigned the tasks of each stage to different actors. The goal was division of work between actors and smooth flow of information between different actors, as well as increasing forest owners' awareness of damage.

Research on the classification of remote sensing data produced data, analysis methods and tree health maps. The materials document the progression of *I. typographus* damage in the study areas and can be used in further studies in the development of risk modeling at different scale levels. The data were central to the development of remote sensing methods. With the help of machine learning, e.g. the production of dead trees and health maps can serve the needs of different stakeholders. Spruce and forest damage indices serve practical forestry by producing a practical method for every forest owner. By understanding the change in the severity of the symptoms, the forest owner can prepare for further forest damage in advance and plan forestry measures. The indices also promote risk models and forecasts and serve as field reference for remote sensing methods. With the help of a logistic regression model, a risk map was created in a GIS program, where a percentage describing the probability of *I. typographus* damage was calculated for each grid box covering the study area. By combining different stand variables, it is possible to produce forecasts of different time periods and scales for the desired target area in Finland, which helps forestry decision-making and adaptation to a changing climate. Carbon sequestration benefits create financial incentives for extending the target cycle times, even though these target cycle times are not always reached due to the risk of forest damage. Pest risks weaken the sink effect of controls that encourage carbon sequestration, but do not eliminate it.

The project produced 3 research publications, 13 presentations, 9 articles aimed at the general public, 5 publication manuscripts and 5 Master's theses.

Sammanfattning av projektet

Masknummer för granskogar? - Förberedelse för framtida granförstöring (Sprucerisk) är ett projekt finansierat av jord- och skogsbruksministeriet, som genomfördes åren 2021–2023 under ledning av Östra Finlands universitet (UEF) i samarbete med Lantmäteriverkets Geodatacentralen (MML), Naturresursinstitutet (Luke), Finlands skogscentral (SMK) och Tapio oy. Projektledare var Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa från UEF:s Institutionen för skogsvetenskaper. Projektet är en del av klimatåtgärdspaketet för markanvändningssektorn - Fånga kolet, som lanserades av Jord- och skogsbruksministeriet våren 2020, som syftar till att minska utsläppen av växthusgaser från jord- och skogsbruk och annan markanvändning samt att stärka kolsänkor och förråd. Konsortiet beviljades ett särskilt anslag på högst 348 000 €, vilket täckte upp till 70% av totalkostnaderna.

UEF (docent Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa med grupp) deltog i alla arbetspaket och ansvarade för utvärderingen av trädrotssymptom i terrängen för granbarkborre och granens rotticka och för att ta fram riskmodeller baserade på dessa data. MML (Prof. Eija Honkavaara med grupp) ansvarade för utvecklingen av fjärranalys och

miniatyrhelikoptermetoder, samt tillämpningen av artificiell intelligens vid granskadeklassificering och utvärdering av döda träd. MML deltog även i utvecklingen av riskmodeller. LUKE (specialistforskaren Jussi Lintunen med grupp) undersökte effekterna av förstörelse av granbarkborre på skogsbrukets ekonomiska resultat och fördelarna med kolbindning med hjälp av en ekonomisk optimeringsmodell. För förenklings skull begränsades modelleringen till en kraftig granbarkborre förstörelse, när skogen föryngras. SMK (MMM Henna Höglund och MMM Juho Kokkonen) deltog i sammanställningen av praktiskt katastrofmaterial, ökade katastrofmedvetenheten, anordnade online- och fältkurser, använde katastrofinformation och ansvarade för att utveckla information som tjänar medborgarna. Tapio Oy (MMM Henry Schneider med grupp) utvecklade aktiviteter riktade mot olika skeden av skogsskövlingssituationen i samarbete mellan skogsbruksaktörer, där fokus ligger på förebyggande. Tapio Oy ansvarade också för underhållet av projektets hemsida och projektinformation.

I projektet skapades metoder och praxis för att förbättra granskogarnas klimattålighet ur ett skogshälsoperspektiv. Resultaten främjar anpassning till klimatförändringar genom att skapa metoder som snabbt kan reagera på förändringar i granars skaderisker. Att kontrollera skador stärker vitaliteten och kolbindningsförmågan hos granar. De geospatiala datamaterial, modeller, verksamhetsmetoder, instruktioner och rådgivningsmaterial som skapats i projektet möjliggör en kostnadseffektiv drift och samarbete mellan skogsbruksaktörer vid inriktning av hälsofrämjande åtgärder.

I projektet utvecklades riskprognoser och riskbedömningsmetoder för en granbarkborre och identifiering av granens rotticka med hjälp av fjärranalys undersöktes med hjälp av en pilotstudie. Huvudmålen med arbetet var:

- En metod för att klassificera svårighetsgraden av granförstörelse baserad på fjärranalys och en tidig varning för stresstillståndet utvecklades.
- Platsbundna uppskattningar av skadedjursförekomst och spridningsmodeller utvecklades, liksom riskmodeller på skogs- och landskapsnivå baserade på riskindex.
- Destruktionsinformationen integrerades i modeller av skogens cykeltid, kolbalans och ekonomiska värde, som används för att stödja skogsbrukets beslutsfattande.
- Skogens ekosystems kolsänkor stärktes med hjälp av katastrofriskhantering, tidig varning och hållbara skogsbruksmetoder.
- Rådgivning riktad till finländska skogsägare och företag genomfördes som slutprodukt av utvecklingsarbetet och skogsägare och skogsproffs utbildades för att främja skogens hälsa.

Forskningsarbetet genomfördes i samarbete inom fem olika områden (Ruokolahti, Iitti, Orivesi, Paloheinä i Helsingfors och Koli). I forskningsområdena i Ruokolahti samlades

information in om barkborrarisken orsakad av stormskadorna 2010 med hjälp av en åttaårig tidsserie, där förekomsten av skadegörarens populationer och trädens skadesymptom orsakade av den och förändringen i beståndsdynamik jämfördes med skadorna i naturvårds- och kommersiella skogar även med hjälp av fjärranalys. I litti fokuserade arbetet på restaureringsplatsernas möjliga inverkan på risken för förstörelse av granbarkborre. Förutom fältarbete använde arbetet data från multi-source Riksskogstaxeringen (MVMI) och fritt tillgängliga miljödata. I Orivesi utvärderade vi symtom på rotröta både i stående träd och i stubbar som ligger efter vinteravverkning. Drönarfotografering utfördes med målbeståndsfigur. I Helsingfors i Paloheinä övervakades granarnas försvagning och trädens hälsotillstånd och symtom klassificerades i fält flera gånger under växtsäsongen. Med hjälp av drönare samlades upprepade data in om förändringarna i våglängden som reflekteras av träden. I Koli nationalpark studerades effekten av snöskador och torka på barkborreangreppets framfart både på marken och med hjälp av en drönare och ett fjärrstyrt luftskepp. Beståndets tillstånd mättes och utvärderades varje vecka, och förekomsten av skadegörare övervakades med hjälp av feromonfällor utanför parkområdet.

UEF samlade in skadedata (trädsymtom på barkborreangrepp, byte av skadedjursfläckar, symtom på granens rotticka) på platser som representerade olika skogsbehandlings, med hjälp av vilken en metod utvecklades baserad på skadeindex för att beskriva den dynamiska förändringen av hälsan status och montern. I skyddade områden var trädsymptomen och dödligheten starkare än i kommersiella skogar. Förstörrisken för granbarkborren förutspåddes med hjälp av en logistisk regressionsmodell, där den korrekta klassificeringsprocenten erhållen med öppna rumsliga data var 82 %. Variablerna som förklarade risken för förstörelse av boktryck var höjden över havet, avståndet till ett öppet område, lövträdens krontäcke, granstockens volym och sluttningens vindriktning. Det rikliga krontäcket av lövträd och skogens läge på södra sluttningen minskade risken för förstörelse. Läget på låg mark, det korta avståndet till det öppna området och den stora volymen av granstocken ökade risken för förstörelse. Vi påbörjade omvandlingen av modellen (iLand) som beskriver skogsutvecklingsprognoser till finska förhållanden, vilket arbete tillsammans med utvecklingen av riskmodeller fortsätter i Finlands Akademis MULTIRISK-projekt. Modeller och fjärranalys av spridningen av barkborresskador vid Koli fortsätter i det EU-finansierade RESDINET-projektet.

Från data som samlats in i drönarkampanjerna bearbetade MML tidigare fjärranalysdata från Ruokolahti och Paloheinä för forskningspublikationer som för närvarande görs, och organiserade en flygfototidsserie från stormår och skogshälsoprognoser med hjälp av Sentinel-2-satellitdata. Metodutveckling inkluderade insamling och bearbetning av omfattande, multi-temporal fjärranalysdata och utveckling av vägleda maskininlärningsmetoder. Luke uppskattade de genomsnittliga kostnaderna och effekterna av slumpmässig förstörelse av granbarkborre på skogsbearbetning, särskilt på måncykeltiden. Granskningarna gjordes med hjälp av risk- och reaktionsscenarier. Riskscenariot bestämde sannolikheten för barkborreangrepp och reaktionsscenariot

bestämde omfattningen av förluster av virkesarter efter förstöringsepisoden. I takt med att virkesförlusterna ökar kan förverkligandet av förstöringsrisken orsaka en så betydande ekonomisk förlust att dess effekter är ganska stora även på det förväntade värdet av barmark. SMK utarbetade egenkontrollinstruktioner för granbarkborreangrepp och implementerade online- och fältkursmaterial för skogsägare. Tapio oy genomförde projektkommunikationen och underhållet av webbplatsen och utarbetade exakta verksamhetsmodeller för de olika stadierna av biotisk avskogning och tilldelade varje etapps uppgifter till olika aktörer. Målet var arbetsfördelningen mellan operatörerna och ett smidigt informationsflöde mellan olika operatörer samt att öka skogsägarnas medvetenhet om skador.

Forskning om klassificering av fjärranalysdata producerade data, analysmetoder och trädhälsokartor. Materialen dokumenterar hur barkborreförstörelsen framskrider inom forskningsområdena och kan användas i vidare studier i utvecklingen av riskmodellering på olika skalnivåer. Uppgifterna var centrala för utvecklingen av fjärranalysmetoder. Med hjälp av maskininlärning kan t.ex. produktionen av döda träd och hälsokartor tjäna olika intressenters behov. Gran- och skogsskadeindex tjänar praktiskt skogsbruk genom att ta fram en praktisk metod för varje skogsägare. Genom att förstå förändringen i symptomets svårighetsgrad kan skogsägaren förbereda sig för ytterligare skogsskövling i förväg och planera skogsbruksåtgärder. Indexen främjar även riskmodeller och prognoser och fungerar som terränginformation för fjärranalysmetoder. Med hjälp av en logistisk regressionsmodell skapades en riskkarta i det geospatiala programmet, där en procentsats som beskrev sannolikheten för boktrycksförstöring beräknades för varje rutnät som täcker studieområdet. Genom att kombinera olika beståndsvariabler är det möjligt att ta fram prognoser för olika tidsperioder och skalor för det önskade målområdet i Finland, vilket hjälper skogsbrukets beslutsfattande och anpassning till ett förändrat klimat. Fördelar med kolbindning skapar ekonomiska incitament för att förlänga måncykeltiderna, även om dessa måncykeltider inte alltid uppnås på grund av risken för förstörelse. Skadedjursrisker försvagar sänkeffekten av kontroller som uppmuntrar kolbindning, men som inte eliminerar den.

Projektet producerade 3 forskningspublikationer, 13 presentationer, 9 artiklar riktade till allmänheten, 3 manuskriptforskningspublikationer och 5 masteruppsatser.

Sisällys

Yhteenveto hankkeesta	2
Summary of the project	5
Sammanfattning av projektet	8
Sisällys	12
1. Hankkeen esittely	14
1.1. Perustiedot hankkeesta	14
1.2. Hankkeen tavoitteet	14
2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi	16
2.1. Menetelmät ja aineisto	16
2.1.1. Maastoreferenssien keräys	16
2.1.2. Kaukokartoitusmenetelmät kirjanpainajatuhon kartoitukseen ja seurantaan	17
2.1.3. Esiselvitys kaukokartoitustekniikoiden soveltuvuudesta kuusen tyvilahon havaitsemiseen	18
2.1.4. Puusto-oireiden aikasarjat	18
2.1.5. Kirjanpainajatuhoriskin mallintaminen	19
2.1.6. Kirjanpainajatuhon ja hiilensidonnann taloudellinen ja mallintaminen	19
2.1.7. Metsätuhotiedosta viestiminen sidosryhmille	20
2.2. Aikataulu ja resurssit (sis. toteutuksen organisaatio ja yhteistyökumppanit)	21
2.3. Kustannukset ja rahoitus	23
2.4. Raportointi, julkaisut ja seuranta	27
2.4.1. Tieteelliset julkaisut	27
2.4.2. Käsikirjoitukset	27
2.4.3. Opinnäytetyöt	28
2.4.4. Seminaarit	28
2.4.5. Lehtiartikkelit	30
2.4.6. Blogikirjoitukset	30
2.4.7. Podcast	30
2.4.8. Opetusmateriaali	30
2.5. Toteutusvaiheen arviointi	31
3. Tulokset ja niiden arviointi	33
3.1. Tulosten esittely	33
3.1.1. Kaukokartoitusmenetelmien kehitys	33
3.1.2. Puuston oireiden aikasarjat kuvaamassa metsän terveydentilan muutosta	37
3.1.3. Kirjanpainajatuhoriskiä onnistuttiin mallintamaan avoimilla aineistoilla	38
3.1.4. Talousmallit – nopea reagointi tuhoihin avainasemassa	40

3.2. Tulosten vieminen käytäntöön	41
3.2.1. Tuhotietoudesta viestiminen	41
3.2.2. Jäytääkö juurikäpää, kurittaako kirjanpainaja -tapahtumat (JJKK)	41
3.2.3. Toimintamalli varautumiselle ja yhteistyölle	44
3.2.4. Opetusmateriaali metsäkoulutukseen	54
3.2.5. Viestintätoimenpiteet	54
3.3. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet	56
Liitteet	58

1. Hankkeen esittely

1.1. Perustiedot hankkeesta

Nimi	Madonluvut kuusikoille? – Varautuminen tulevaisuuden kuusituhoihin
Lyhenne	Sprucerisk
Kesto	06/2021 - 12/2023
Rahoittaja	Maa- ja metsätalousministeriö
Myönnetty erityisavustus	348 000 € (momentti 30.40.22 (Luonnonvara ja biotalouden edistäminen))
Myöntöpäätös	VN/5292/2021
Vetäjä	Dos. Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa, Itä-Suomen yliopiston metsätieteiden osasto
Partneriorganisaatiot	Itä-Suomen yliopiston metsätieteiden osasto Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus Suomen metsäkeskus Tapio oy Luonnonvarakeskus

1.2. Hankkeen tavoitteet

Metsätuhojen ja ilmastonmuutoksen vuorovaikutus

Ilmastonmuutoksen vaikutus metsien terveyteen on toistaiseksi jäänyt vähemmälle huomiolle. Bioottiset häiriötekijät voivat vaikuttaa metsien hiilitaseeseen ja alentaa metsien toimintaa hiilinieluina. Puita tappavat kaarnakuoriaiset ja sienitaudit vähentävät hiilensidonnan kapasiteettia ja samalla vapauttavat hiilipohjaisia yhdisteitä ilmakehään. Ilmastonmuutos myös edistää tuholaislajien levinneisyyttä ja joukkoesiintymien yleistymistä ja näin alentaa metsiin sitoutuvaa hiiltä. Pohjois-Amerikan mantereen kaarnakuoriaistuhojen päästöjen on arvioitu vastaavan metsäpalojen hiilipäästöjen tasoa. Kaarnakuoriaistuhot ovat myös Euroopassa saaneet massiiviset mittasuhteet ja samalla heikentäneet koko alueen puumarkkinoiden tasapainoa runsaan tuhopuun ylijäämän ja sahatavaran vientiongelmien vuoksi. Laajoja häiriöitä voi suurella todennäköisyydellä tapahtua myös Suomessa, koska jo Etelä- ja Keski-Ruotsin kahden viime vuoden kaarnakuoriaistuhot (18 milj. m³) yltävät suuremmiksi kuin 60 vuoden aikana yhteensä.

Suomen sisäistä varautumista tarvitaan ennen tilanteen muuttumista kriittiseksi, etenkin ennustettaessa tuhojen vaikutuksia maan etelä- ja kaakkoisosissa vallitseviin varttuneisiin kuusivaltaisiin metsiin. Sään ääri-ilmiöt lisääntyvät ja kasvukauden tehoisa lämpösumma on jo kääntynyt nousuun, edistäen tuhonaiheuttajien menestymistä. Kokonaisvaltainen ymmärrys, moderni seuranta ja riskinarviointi tarvitaan kahden tärkeimmän kuusimetsien tuhonaiheuttajan, kirjanpainajan (*Ips typographus* L.) ja kuusen juurikäävän (*Heterobasidion parviporum* Niemelä & Korhonen) vaikutuksesta puuntuotantoon ja metsätalouden harjoittamiseen, jotta metsäsektorin menestys turvattaisiin myös tulevinä vuosikymmeninä.

Tavoitteet

Hankkeen päätavoitteena on kehittää Suomen oloihin soveltuva kirjanpainajan ja juurikääpäsienen esiintymiseen, metsikkö- ja ympäristötekijöiden riskiluokitukseen ja kaukokartoitusaineistojen tulkintaan perustuva kuusikoiden tuhoriskien ennakkointijärjestelmä, jonka avulla metsätalouden harjoittaminen voidaan sopeuttaa muuttuviin olosuhteisiin. Työssä muokataan metsätalouden riskinvarautuminen toimimaan kustannustehokkaasti, riittävän nopeasti ja integroitujen hallintamenetelmien (IPM) mukaisesti. Työ jakautuu seuraaviin osatavoitteisiin:

1. Kehitetään kaukokartoitukseen perustuva kuusituhojen vakavuusasteen luokittelumenetelmä maastoreferenssin avulla. Kaukokartoituksen avulla puuston stressitila havaitaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.
2. Kehitetään kerättyjen aikasarjojen avulla paikkaan sidottuja tuhonaiheuttajien tiheysestimaatteja ja populaatiodynaamisia malleja. Luodaan hilaruutupohjalle riskiä kuvaavat indeksit, jonka avulla kehitetään metsikkö- ja maisematason riskimallien menetelmä.
3. Integroidaan tuhotieto metsän dynaamisen kehityksen, hiilitaseen ja taloudellisen arvon malleihin, joita voidaan käyttää hiilipolitiikan ja metsätaloudellisen päätöksenteon tukena.
4. Vahvistetaan metsäekosysteemin hiilinieluja tuhojen riskinhallinnan, varhaisvaroituksen ja kestävien metsänhoitomenetelmien avulla.
5. Tehdään kehitystyön lopputuotteina suomalaisille metsänomistajille ja yrityksille suunnatut neuvontapalvelut ja koulutetaan metsäammattilaisia metsänterveyden edistämiseen.

2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

2.1. Menetelmät ja aineisto

2.1.1. Maastoreferenssien keräys

UEF tuotti hankkeessa maastoreferenssin viideltä puustotuhokohteelta. Kohteet olivat Koli, Ruokolahti, Helsingin Paloheinä, litti ja Orivesi. Aineistoja käytettiin hankkeen tutkimuksen pohjana.

Kolin kansallispuistossa Pohjois-Karjalassa on nähtävillä kuivuuden, lumituhojen ja kaarnakuoriaistuhojen häiriödynamiikkaa. UEF on perustanut kansallispuistoon 28 koealaa, joilla kerättiin tietoja näistä eri tuhonaiheuttajista. Kesän 2023 aikana koealojen kaarnakuoriaistilannetta havainnoitiin maastotyönä kahden viikon välein. Näin saatiin dokumentoitua kaarnakuoriaistuhon etenemisen vaiheet kesän aikana. Aineisto on pohjana kaukokartoitusmenetelmien kehitykselle.

Kirjanpainajan iskeymän vaikutusta puun läpimitan kehitykseen seurattiin dendrometrien avulla. Dendrometri on laite, joka tallentaa puun läpimitan muutoksen useita kertoja tunnissa. Dendrometrit asennettiin kesän 2023 ajaksi Kolin tutkimusalueelle ja Helsingin Paloheinän tutkimusalueelle.

Feromoniansoilla kerättiin tietoa kirjanpainajan parveilusta kesän 2023 aikana sekä Helsingin Paloheinässä (6 ansaa) että Kolin kansallispuiston rajojen ulkopuolella (12 ansaa). Syötteinä käytettiin keinotekoisia Megalure-houkutusferomonia, jonka avulla hyönteiset jäivät keräyssäiliöön. Saalis mitattiin kustakin ansasta kerran viikossa, jonka tiedon avulla saatiin tarkka estimaatti parheiluhuippujen ajoitukseen. Parveilun ajankohdan tieto toimi kaukokartoituksen taustatietona.

Ruokolahdella Etelä-Karjalassa ja litissä Kymenlaaksossa ja on tehty maastotöitä ja kerätty tietoa kirjanpainajan esiintymisestä Päivi Lyytikäinen-Saarenmaan tutkimusryhmän toimesta jo aiempien hankkeiden aikana. Ruokolahdelle on perustettu 89 koealaa ja littiin 37. Sprucerisk-hankkeessa Ruokolahden monivuotinen aikasarja käsiteltiin ja analysoitiin. Kaikille koealojen puille määritettiin riski-indeksit puusto-oireiden perusteella (iskeymät, pihkavuoto, kaarnavaurio, neulasten harsuuntuneisuus ja värinmuutos). Indeksien arvot skaalattiin niin, että ne saivat arvot välillä 0–1. Indeksiarvojen perusteella pystyttiin mallintamaan puuston terveydentilan muutos vuosien välillä. Lisäksi mallinnettiin puuston dynaaminen kehitys ja puuston kuolleisuus sekä suojelualueilla että talousmetsissä. Myös litin aineisto käsiteltiin ja analysoitiin kirjanpainajatuhon riskiä ennustavaa mallia varten. Helsingin Paloheinässä kaupungin suojelualueella seurattiin varttuneiden kuusien terveydentilan muutosta ja kuolleisuutta samoilla menetelmillä kuin Ruokolahden tutkimusalueilla kolmen vuoden ajan. Puiden tarkka paikkatieto tallennettiin kaukokartoitusaineistoja varten.

Juurikäävän esiintymistä kuvaava maastoaineisto kerättiin Orivedeltä. Kuusen juurikäävän vaivaamalta kuviolta tallennettiin tieto juurikäävän esiintymisestä kuusen kannoissa. Aineistoa käytettiin esiselvitykseen kaukokartoitustekniikoiden soveltuvuudesta kuusen tyvilahon havaitsemiseen.

2.1.2. Kaukokartoitusmenetelmät kirjanpainajatuhon kartoitukseen ja seurantaan

Hankkeen tavoitteena oli kehittää tehokkaita kaukokartoitusmenetelmiä yksittäisten puiden ja metsän terveyden mittaamiseksi ja seuraamiseksi sekä selvittää menetelmien suorituskykyä. Menetelmiä kehitettiin drone- ja satelliittikuvien perusteella.

Kartoitus ja seuranta dronekaukokartoituksella

Dronekaukokartoitukseen perustuvan menetelmän kehittäminen kirjanpainajan aiheuttamien tuhojen tunnistamiseen latvusto-oireiden perusteella oli yksi hankkeen tavoitteista. Tutkimusaiheina olivat dronemenetelmien skaalautuvuuden kehittäminen pienten alueiden analyyseistä laajoille alueille, tuhojen seurannan kehittäminen sekä tuhojen hiilivaikutusten arvioiminen. Tarvittavat aineistot ovat maastossa tehdyt yksittäisten puiden oirehavainnot sekä niitä vastaavat kuva-aineistot. Työssä käytettiin aikaisemmin sekä hankkeen aikana kerättyjä droneaineistoja: Lahden droneaineistot hyperspektri- ja värikameroilla (2013), Ruokolahden droneaineistot väri-, hyper- ja multispektrikameroilla (2015, 2016, 2019, 2020, 2021), Helsingin aineistot väri-, hyper- ja multispektrikameroilla (2020–2022) (Kuva 1).



Kuva 1. Kaukokartoitustutkimuksen testialueet.

Kuusien terveystila voidaan luokitella latvusto-oireiden perusteella luokkiin ”green” (terve), ”green attack” (iskeymän alkuvaihe, jota ei voida silmin erottaa), keltainen, punainen ja harmaa (kuollut). Keskeinen tekniikka näiden eri vaiheiden tunnistamiseen oli koulutetut koneoppimismenetelmät, käyttäen dronella kerättyjä kuva-aineistoja sekä referenssiaineistoja. Dronekuvien analysoinnissa käytettiin multispektrikuvia. Lisäksi menetelmää demonstroitii vuonna 2023 tekemällä laajan alueen BVLOS-lento yhteistyössä Kelluu oy:n kanssa.

Satelliittipohjainen seuranta

Satelliittipohjaista seurantaa varten hankkeessa selvittiin ESan avoimien Sentinel-2-satelliittikuva-aineistojen suorituskykyä kirjanpainajatuhojen monitoroinnissa ja tunnistamisessa Suomen olosuhteissa.

Satelliittitulkintaa varten kerättiin Sentinel-2-kuva-aikasarjat vuosilta 2019, 2020 ja 2021 huhti-, touko-, kesä-, heinä-, elo- ja syys-/lokakuulta. Opetusaineistoina käytettiin 89 koealaa, joiden puulajit ja kuusien terveydentilat oli määritelty yksittäisten puiden tarkkuudella Päivi Lyytikäinen-Saarenmaan tutkimusryhmän toimesta. Koneoppimismenetelmänä käytettiin pääasiassa Random Forest -menetelmää, jolle annettiin syöteinä kuva-aineistoista lasketut piirteet sekä kenttätöissä kerätyt referenssiaineistot (Östersund 2022).

2.1.3. Esiselvitys kaukokartoitustekniikoiden soveltuvuudesta kuusen tyvilahon havaitsemiseen

Esiselvityksessä kaukokartoitustekniikoiden soveltuvuudesta kuusen tyvilahon havaitsemiseen selvitettiin, millä tarkkuudella juurikäävän vaivaamat kuuset pystytään tunnistamaan kaukokartoituksen keinoin käyttäen dronesta käsin kerättyjä kaukokartoitusaineistoja (LiDAR, hyperspektri, multispektri, kamerakuvat).

Kaukokartoitusaineistot väri-, multispektri- ja hyperspektrikameroilla kerättiin 13.8.2021 n. 6 ha kokoiselta koealalta Orivedellä. Alueella tehtiin päätehakkuu syksyllä 2021. Itä-Suomen yliopisto teki maastoarvioinnit keväällä 2022 analysoimalla maastossa kannot, jotka Paikkatietokeskus paikansi tarkasti. Maastossa määritettiin kannon läpimitta sekä kuinka suuri osuus läpimitasta oli juurikäävän vaivaama. Maastoarvioinnissa paikannettiin ja arvioitiin 502 kantoa. Myöhemmin havaittiin epätäsmällisyyksiä kantojen mittauksessa ja maastohavainnoissa lopullisia varmoja havaintoja saatiin 98 puusta. Puu, jonka kannon läpimitasta >50 % tulkittiin juurikäävän vaivaamaksi luokiteltiin vakavasti rappeutuneiksi.

2.1.4. Puusto-oireiden aikasarjat

Pystypuiden kirjanpainajan aiheuttamien puusto-oireiden koealojen ($r = 5$ m) sijainti vuodesta 2014 alkaen valittiin sillä perusteella, jotta kaarnakuoriaistuoja löytyisi

joukkoesiintymän eri vaiheista ja jotta voitaisiin selvittää oireiden voimakkuuden esiintyminen usean vuoden ajan. Samoin tavoitteena oli vertailla kaarnakuoriaistuhon etenemistä Metso-suojelualueilla ja normaaleissa talousmetsissä. Koealueilla puustotuho skaalautui lähes terveestä verrokista aina vakavaan metsätuhoon sekä ns. postgradaatioon, jossa tuhot ovat jo laantumassa. Uudet perustettavat ympyräkoealat ($r = 10$ m) valittiin keväällä 2019 tuhoalueiden lisäksi myös kohteille, joissa esiintyi lievempiä näkyviä puusto-oireita. Visuaalinen oirearviointi tehtiin aina myös aiemmin perustetuilta koealoilta, jolloin koealoja oli yhteensä 63. Koealojen paikkatieto määritettiin GPS-laitteella (± 30 cm tarkkuus) ja puuston perustunnukset (h, dbh) sekä etäisyys ja suunta keskipisteeseen nähden mitattiin koealan perustamisen yhteydessä. Koealojen puiden terveydentila arvioitiin vuosittain elokuussa. Arvioidut oireet olivat rungon pihkavuodot, kirjanpainajan iskeymäaukot ja kaarnavauriot (kolme luokkaa) sekä latvuksen osalta neulasten väri ja harsuuntuneisuus (neljä luokkaa). Kuusien terveyteen liittyviä luokka-arvoja käytettiin metsänterveyttä kuvaavien indeksiarvojen (ns. score-arvot, vaurioindeksi) laskennassa ja summatut luokka-arvot skaalattiin välille 0–1. Mitattujen puustotunnusten, luokiteltujen oireiden ja metsäympäristöä kuvaavien muuttujien avulla koottiin aineisto, jota hyödynnettiin riskimallinnuksessa ja kaukokartoituksen maastoreferenssinä.

2.1.5. Kirjanpainajatuhoriskin mallintaminen

Kirjanpainajatuhoriskiä ennustavan mallin luomiseen käytettiin sekä maastossa kerättyä aineistoa että avoimia paikkatietoaineistoja. Maastoaineisto oli kerätty litistä, jossa on tehty maastotöitä jo vuodesta 2013 alkaen muiden hankkeiden alla. Alueella kirjanpainaja on vaurioittanut talousmetsien puustoa. Alueella sijaitsee myös ennallistamisalue, jolla on tuotettu kuusilahopuuta. Kuolleiden kuusten keskittymät eli kirjanpainajan tuholaitut oli kartoitettu maastotyönä. Maastossa oli kartoitettu myös terveiden kuusikoiden alueita kontrolliaineistoksi. Hankkeen aikana aineisto käsiteltiin ja analysoitiin. Näin saatiin paikkaan sidottu tieto kirjanpainajatuhoalueiden sijainnista. Kirjanpainajatuhon todennäköisyyttä mallinnettiin seuraavien avoimien aineistojen avulla: monilähteen valtakunnan metsien inventoinnin (MVMI) karttaaineisto (Luke), maaston korkeusmalli (MML) ja maalajikartta (Geologian tutkimuskeskus). Analyysiin valittiin vuoden 2011 MVMI-aineisto sillä perusteella, että se kuvaa parhaiten tutkimusaluetta ennen kirjanpainajan aiheuttamia puustovaurioita, soveltuen kirjanpainajatuhoa ennakoivan mallin laatimiseen. MVMI 2011 -aineiston maastomittaukset on toteutettu vuosina 2007–2011, mutta se on laskennallisesti päivitetty vastaamaan ajankohtaa 31.7.2011. Avoimista aineistoista koottiin 29 muuttujaa, jotka mahdollisesti selittävät kirjanpainajatuhoa alan kirjallisuuden perusteella. Näiden muuttujien avulla lähdettiin rakentamaan kirjanpainajatuhon todennäköisyyttä selittävää logistista regressiomallia.

2.1.6. Kirjanpainajatuhon ja hiilensidonnin taloudellinen ja mallintaminen

Hankkeessa oli tavoitteena muodostaa puuston kasvua, hiilen sidontaa ja taloudellisen arvon muutosta kuvaavat ennustemallit eri metsänhoidollisissa vaihtoehtoissa tuhoalueilla.

Mallinnustyössä keskityttiin kasvukuvaukseen, joka on kehitetty kuusen jaksollisen kasvatuksen tarkasteluun. Mallinnustyön lähtökohtana oli riittävä tarkkuus, että malli soveltuu metsänkäsittelyn (harvennusten ajoitus ja toteutus sekä tavoitekiertoaika) tarkasteluun. Keskeisenä rajoitteena toimi metsän kehitystä kuvaavan satunnaisprosessin optimointi, minkä vuoksi metsikön tilan kuvaamisessa rajoituttiin kohtuulliseen määrään metsikön tilaa kuvaavia muuttujia.

Mallityön lähtökohdaksi otettiin FinFEP-mallin metsikkömoduuli, joka on kalibroitu Motti-mallin avulla. Malli mahdollisti tarvittavan tarkkuuden metsänkäsittelyjen tarkastelussa. Työssä mallia täydennettiin vakavien luonnontuhojen mallilla. Luonnontuhojen malli kalibroitiin vastaamaan kirjanpainajatuhojen havaittuja ominaisuuksia. Keskeisinä tuhon todennäköisyyttä säätelevinä metsikön tilaa kuvaavina muuttujina käytettiin puiden läpimittaa ja ikää, puuston tilavuutta ja harvennusindikaattoria. Puuston läpimitan ja iän vaikutus mallinnettiin kynnyksarvoja hyödyntäen, jolloin tuhoriski kasvaa merkittäväksi vain, jos puut ovat tarpeeksi suuria läpimitaltaan ja vanhoja iältään. Puuston tilavuus kuvasi puiden kykyä vastustaa hyönteisiä ja harvennusindikaattori ilmaisi, onko edellisellä periodilla tehty harvennushakkuu, mikä lisäsi hetkellisesti kirjanpainajatuhoriskiä.

Optimointimalli rakennettiin kuvaamaan jaksollista kasvatusta. Optimointi suoritettiin kahdella tavalla: pelkästään puuntuotantoa optimoiden ja puuntuotannon lisäksi biomassan hiilensidonnan yhteiskunnalliset hyödyt huomioiden. Optimointeja tehtiin erilaisissa riski- ja reaktioskenaarioissa. Riskiskenaariot määrittivät metsikön yleisen kaarnakuoriaisriskitason, jota metsikön ominaisuudet em. tavalla skaalasivat. Reaktioskenaarion avulla kuvattiin metsänomistajan kykyä havaita ja reagoida nopeasti tuhoepisodin syntyyn ja siten välttää puutavaralajitappioita. Stokastinen optimointiongelmia muotoiltiin dynaamisena ohjelmointiongelmaksi ja ratkottiin arvofunktioiteraatiota käyttäen.

2.1.7. Metsätuhotiedosta viestiminen sidosryhmille

Hankkeessa on koottu toimintamallia yhteistyön parantamiseksi, joka esitellään kohdassa [3.2.3](#). Toimintamallia varten hanke järjesti työpajan, jossa oli yli 40 osallistujaa monesta eri organisaatiosta. Työpajassa kartoitettiin organisaatioiden rooleja ja toimintaa metsätuhojen osalta sekä keskusteltiin ja koottiin toiminnan kehityksen näkökulmista. Metsätuhoihin liittyviä pääviestejä hahmoteltiin myös. Toiminnan parantamista kartoitettiin myös metsäammattilaisille suunnatuissa koulutuksissa, joissa keskusteltiin vastaan tulleista tuhoihin liittyneistä haasteista ja tulevaisuuden näkökulmista. Projektiryhmässä on myös metsätuhoihin liittyviä avainhenkilöitä, joiden asiantuntemusta ja tietoja on hyödynnetty laajasti. Metsätuhoihin liittyvää viestintää on tarve jatkaa ja kehittää nousi kaikissa yhteyksissä selvästi esiin.

Hankkeelle laadittiin koko hankkeen keston kattava viestintäsuunnitelma, jossa määriteltiin viestinnän tavoitteet, tärkeimmät viestintätoimenpiteet ja aikataulusuunnitelma. Hankkeelle perustettiin verkkosivut osoitteessa <https://tapio.fi/projektit/sprucerisk/>.

Hankkeessa järjestettiin vuoden 2023 aikana kirjanpainaja-maastokoulutuksia Helsingissä, Jyväskylässä ja Lahdessa. Tilaisuuksiin kutsuttiin paikalle mediaa.

Hanketoimijat kirjoittivat vuorollaan blogikirjoituksia hankkeen aikana. Blogikirjoituksia, artikkeleita, videoita, tapahtumia ja koulutuksia on jaettu hankekumppaneiden some-kanavissa. Hankkeen julkaisuja on nostettu myös mm. Tapion uutiskirjeissä ja MMM:n Hiilestä kiinni -uutiskirjeissä.

2.2. Aikataulu ja resurssit (sis. toteutuksen organisaatio ja yhteistyökumppanit)

Hankkeen toteuttamiseen käytetyn aineiston kerääminen työpaketeissa 1 ja 2 (MML ja UEF) saatiin päätökseen vuonna 2023, koska maastoaineistoja kerättiin vielä viimeisenä hankekesänä. Työpaketti 3 (Luke) perustui pitkälle työpaketissa 2 saatuihin tiedostoihin ja tuloksiin (Kuva 2). Tietoaineisto sisälsi maastossa kerättyjä puustomittauksia ja oirearviointeja, kirjanpainajan ja kuusen juurikäävän runsautta ja esiintymistä koskevia aikasarjoja, kaukokartoituskampanjoita ja avoimista tietolähteistä kerättyä dataa. Paikkatietokeskuksen tehtävänä oli kehittää dronekuviin ja Sentinel-2-kuviin perustuvat kaukokartoitusmenetelmät kirjanpainajatuhojen kartoitukseen. Paikkatietokeskus myös keräsi tarkkoja dronekuva-aikasarjoja Ruokolahden, Helsingin Paloheinän, Oriveden ja Kolin koealueilta. Työpaketin 2 tietoja ja osaamista käytettiin koko hankkeen pohjana. Työpaketin 2 (UEF, MML ja Luke) työ paikallisten riskimallien ja hilaruutupohjaisten mallien osalta oli käynnissä toisen ja kolmannen hankevuoden kuluessa. Kolmannen työpaketin (Luke) talousmallien pohjatyönä käytettiin litin ja Ruokolahden riskimallien ja -indeksien tuottamaa tietoa. Uuden maisematason mittakaavan mallinnusmenetelmän (iLand) omaksuminen käynnistettiin toisena hankevuonna. Laajan mittakaavan dynaamiset mallit eivät kuitenkaan toteutuneet hankeaikana, vaan työ jatkuu Suomen Akatemian MULTIRISK-hankkeessa. Taloudellisten ennustemallien kehittäminen tapahtui kolmantena hankevuonna. Työpaketit 4 (SMK) ja 5 (Tapio oy) käynnistyivät pääosin vuonna 2022, koska niissä tehtävä työ perustui aikaisempien työpakettien etenemiseen (Kuva 2). Suurin osa koulutus- ja tietopalvelujen käytännön järjestämisestä ajoittui kolmannelle hankevuodelle.

Vetovastuu	Työ	2021				2022				2023			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
MML	1.1 Dronekaukokartoitus		■	■	■	■	■	■	■	■			
	1.2 Satelliittipohjainen seuranta					■	■	■	■	■	■	■	
	1.3 Kuusen tyvilahon kartoitus						■	■	■	■	■	■	■
UEF	2.1 Muuttujien indeksointi					■	■	■					
	2.2 Eri mittakaavan riskimallit					■	■	■	■	■	■		
	2.3 Leviämisen riskimallit								■	■	■	■	
Luke	3.1 Puuston kasvu								■	■	■	■	■
	3.2 Puuston taloudellinen arvo				■	■	■	■	■	■	■	■	■
SMK	4 Metsänomistajien neuvonta				■	■		■	■		■	■	■
Tapio	5 Koulutus ja tuhotietous				■		■	■		■	■	■	■

Kuva 2. Sprucerisk-hankkeen eteneminen vuosina 2021–2023. Toinen hankevuosi aktivoi kaikki työpaketit. Työpaketti 3 oli sidoksissa työpaketin 2 malleihin ja siksi painottui viimeiselle vuodelle. Kolmantena hankevuotena myös metsänomistajien ja alan toimijoiden tuhopäätös ja metsänomistajien neuvontapalvelut olivat runsaat.

Yhteistyökumppani Tornator oyj on luovuttanut hankkeen tutkijoille kuvio- ja metsäympäristötietoja käsittäviä aineistoja. Hankkeen aikana kerättyjä ja aikaisempien vuosien aineistoja sekä avointa dataa on käytetty tutkimusjulkaisujen käsikirjoituksia varten. Jo julkaistujen raporttien lisäksi useita käsikirjoituksia on myös valmisteluvaiheessa.

Hankkeen työpakettien porrasteinen käynnistyminen vaikutti siihen, että aivan kaikki eivät vielä hankkeen käynnistysvaiheessa olleet aktiivisesti mukana. Lisäksi pientä viivettä tapahtui aivan alussa, jolloin koordinaatio siirrettiin Helsingin yliopistolta Itä-Suomen yliopistolle. Käytännössä koordinaatio jo tapahtui syksyllä 2021 Itä-Suomen yliopistolta käsin, vaikka virallinen siirtopäätös saatiin maaliskuussa 2022. Siirron hallinnollinen järjestely tosin vei huomattavan paljon työaikaa.

Suurin osa hankkeen partnereista oli tehnyt yhteistyötä jo aiemmissa hankkeissa, mistä syystä Sprucerisk-hankkeen yhteistyö sujui mutkattomasti. Kehitysehdotus seuraavaa vastaavanlaista projektia varten olisi säännölliset, esimerkiksi kerran kuukaudessa pidettävät työkokoukset, joiden avulla kaikki partnerit voisivat vaihtaa hankkeen kuulumiset. Sprucerisk-hankkeen konsortio kokoontui usein yhteen pohtimaan ajankohtaisia hankeasioita, mutta hankkeen lopulla osa partnereista arvioi, että vielä tiiviimpi yhteydenpito olisi ollut hyödyllistä.

Luken taloustieteilijöillä ei ollut Sprucerisk-projektia aikaisempaa kokemusta yhteistyöstä hankkeen muiden partnereiden kanssa. Yhteistyötä tehtiin erityisesti työpaketin 3 mallinnusvaiheessa, jossa kartoitettiin valittavalta mallilta vaadittavat ominaisuudet ja kalibroitiin talousmallinnuksessa käytetty riskimalli. Uusi yhteistyökuvio oli hyvä

oppimiskokemus molemmin puolin ja saavutti sille asetetut tavoitteet. Projektin aikana saavutettiin ymmärrys eri tieteenalojen tavasta lähestyä ongelmia, mikä on hyödyllistä mahdollisten jatkoyhteistyöhankkeiden kannalta. Jatkossa olisi ehkä paikallaan varata resursseja tutkijavierailuille yhteistyöorganisaatioiden välillä. Tämä syventäisi yhteistyötä entisestään. Aikataulutuksen kannalta tulosten viestintää olisi hyvä tehdä vielä hankkeen loputtua, jolloin siihen olisi varattu oma osuus ja sen toteutus onnistuisi paremmin, kun tulosten valmistuminen olisi hankkeen loppuun mennessä.

2.3. Kustannukset ja rahoitus

Maa- ja metsätalousministeriö myönsi Sprucerisk-hankkeelle 29.4.2021 erityisavustuksen 348 000 € vuosille 2021–2023. Helsingin yliopistolle myönnettiin enintään 95 000 euroa, Maanmittauslaitokselle enintään 69 000 euroa sekä 9 henkilötyökuukautta, Suomen metsäkeskukselle enintään 59 000 euroa, Tapio oy:lle enintään 65 000 euroa ja Luonnonvarakeskukselle 60 000 euroa sekä 5 henkilötyökuukautta käytettäväksi hankkeen toteutukseen.

Ensimmäisenä hankevuonna rahoitusta ei käytetty lainkaan Helsingin yliopistolla. Määräraha siirrettiin Itä-Suomen yliopistolle ja siirto astui voimaan 10.3.2022.

Sprucerisk-hankekonsortion kokonaiskustannukset olivat loppuraportin luovutushetkellä, osan hankepartnereista laskutuskauden ollessa vielä kesken, arvioituna 403 198,34 euroa, josta maa- ja metsätalousministeriön myöntämä rahoitus kattoi 315 666,77 € (78 %) (Taulukko 1). Loput 87 531,57 € olivat hankepartnereiden omarahoitusta. Rahoitus, kustannukset ja henkilötyökuukaudet on eritelty hankepartnereiden ja hankevuosien mukaan taulukoissa 1, 2 ja 3.

Maanmittauslaitoksen ja Luonnonvarakeskuksen esittämät luvut ovat arvioita, sillä näiden partnereiden osalta lopullisia laskelmia ei ollut saatavilla loppuraportin luovuttamiseen hetkellä, sillä näiden partnereiden laskutuskausi jatkui pidempään kuin muiden partnereiden.

Taulukko 1. Rahoitus. Maa- ja metsätalousministeriön myöntämä ja hankeosapuolten oma rahoitus kokonaisuudessaan ja eriteltyinä hankevuosille. Maanmittauslaitoksen rahoituslaskelma on arvio, jossa on huomioitu toteutuneet kustannukset 31.10.2023 mennessä sekä arvioidut kustannukset marraskuulle 2023. Luonnonvarakeskuksen vuoden 2023 arvio perustuu myöntöön ja vuosina 2021 ja 2022 toteutuneisiin kuluihin.

	Itä-Suomen yliopisto	Maanmittaus -laitos	Suomen metsäkeskus	Tapio oy	Luonnonvara- keskus	Kaikki hankeosapuolet yhteensä
MMM:n myöntämä rahoitus, €						
2021	0	19 000	0	12 000	3 548,21	34 548,21
2022	25 216,77	25 000	10 199,60	25 000	17 858,41	103 274,78
2023	37 450,01	25 000	48 800,40	28 000	38 593,38	177 843,79
Koko hankkeen ajalle	62 666,77	69 000	59 000	65 000	60 000,00	315 666,77
Hankeosapuolten oma rahoitus, €						
2021	0,00	1 141,74	0	0	1 520,67	2 662,41
2022	10 807,19	6 570,32	0	0	7 653,60	25 031,11
2023	16 050,00	27 248,03	0	0	16 540,02	59 838,05
Koko hankkeen ajalle	26 857,19	34 960,09	0	0	25 714,29	87 531,57
Rahoitus yhteensä koko hankkeen ajalle,	89 523,96	103 960,09	59 000	65 000	85 714,29	403 198,34
josta MMM:n rahoittama osuus	70 %	66 %	100 %	100 %	70 %	78 %

Taulukko 2. Kulut. Hankeosapuolten palkkakustannukset, matkakulut, muut kustannukset ja kokonaiskustannukset yhteensä ja eriteltyinä hankevuosille. Maanmittauslaitoksen kululaskelma on arvio, jossa on toteutuneet kustannukset 31.10.2023 mennessä sekä arvioidut kustannukset marraskuulle 2023. Luonnonvarakeskuksen laskelma perustuu myöntöön ja 31.10.2023 mennessä toteutuneisiin kuluihin. Tapio raportoi ainoastaan budjetoidut kokonaiskulut, johtuen erillisestä sopimuksesta ministeriön kanssa.

	Itä-Suomen yliopisto	Maanmittaus -laitos	Suomen metsäkeskus	Tapio oy	Luonnonvara -keskus	Kaikki hankeosapuolet yhteensä
Palkkakustannukset (sis. sivukulut)						
2021	0	2 036,82	0	n/a	2 696,21	4 733,03 *
2022	20 204,21	11 858,29	6 976,04	n/a	13 570,22	52 608,76 *
2023	30 121,71	42 308,90	33 435,56	n/a	16 138,20	122 004,37 *
Koko hankkeen ajalta	50 325,92	56 204,01	40 411,60	n/a	32 404,63	179 346,16 *
Matkakulut yhteensä						
2021	0	44,00	0	n/a	0	44,00 *
2022	1 239,62	0	705,74	n/a	0	1 945,36 *
2023	1 690,67	0	3 070,21	n/a	0	4 760,88 *
Koko hankkeen ajalta	2 930,29	44,00	3 775,95	n/a	0	6 750,24 *
josta ulkomaanmatkat						
2021	0	0	0,00	n/a	0	0 *
2022	0	0	379,20	n/a	0	379,20 *
2023	0	0	0,00	n/a	0	0 *
Koko hankkeen ajalta	0	0	379,20	n/a	0	379,20 *
Muut kustannukset yhteensä						
2021	0	1 724,98	0	n/a	2 372,67	4 097,65 *
2022	14 580,12	10 042,79	2 517,82	n/a	11 941,79	39 082,52 *
2023	21 687,63	35 944,31	12 283,69	n/a	14 201,62	84 117,25 *
Koko hankkeen ajalta	36 267,75	47 712,08	14 801,51	n/a	28 516,08	127 297,42 *
josta julkaisukustannukset						
2021	0	0	0	n/a	0	0 *
2022	0	0	0	n/a	0	0 *
2023	0	0	0	n/a	0	0 *
Koko hankkeen ajalta	0	0	0	n/a	0	0 *
josta tarvikkeet						
2021	0	0	0	n/a	0	0 *
2022	33,09	0	0	n/a	0	33,09 *
2023	0	0	0	n/a	0	0 *
Koko hankkeen ajalta	33,09	0	0	n/a	0	33,09 *
josta laitteet						
2021	0	0	0	n/a	0	0 *
2022	0	0	0	n/a	0	0 *
2023	0	0	0	n/a	0	0 *
Koko hankkeen ajalta	0	0	0	n/a	0	0 *
josta yleiskustannukset						
2021	0	1 724,98	0	n/a	2 372,67	4 097,65 *
2022	14 547,03	10 042,79	2 257,82	n/a	11 941,79	38 789,43 *
2023	21 687,63	35 831,41	9 827,65	n/a	14 201,62	81 548,31 *
Koko hankkeen ajalta	36 234,66	47 599,18	12 085,47	n/a	28 516,08	124 435,39 *
josta muut mahdolliset kustannukset						

2021	0	0,00	0	n/a	0	0 *
2022	0	0,00	260,00	n/a	0	260,00 *
2023	0	112,90	2 456,04	n/a	0	2 568,94 *
Koko hankkeen ajalta	0	112,90	2 716,04	n/a	0	2 828,94 *

Kokonaiskustannukset yhteensä						
2021	0,00	3805,80	0	12 000 **	5068,88	20 874,68 *
2022	36 023,95	21 901,08	10 199,60	25 000 **	25512,01	118 636,64 *
2023	53 500,01	78 253,21	49 495,20	28 000 **	30339,82	239 588,24 *
Koko hankkeen ajalta	89 523,96	103 960,09	59 694,80	65 000 **	60 920,71	379 099,56 *
josta MMM:ltä haettu osuus						
2021	0,00	19 000	0	12 000 **	3 548,21	34 548,21 *
2022	25 216,77	25 000	10 199,60	25 000 **	17 858,41	103 274,78 *
2023	37 450,01	25 000	48 800,40	28 000 **	38 593,38	177 843,79 *
Koko hankkeen ajalta	62 666,77	69 000	59 000,00	65 000 **	60 000,00	315 666,77 *

* ei sisällä Tapio oy:n kustannuksia

** budjetoitu

Taulukko 3. Henkilötyökuukaudet hankeosapuolten, hankevuosien ja MMM:n myöntämän osuuden mukaan eriteltynä. Luonnonvarakeskuksen luvut perustuvat toteumaan 31.10.2023 mennessä. Tapio oy raportoi rahankäytöstä ministeriölle erikseen, jonka takia lukuja ei ole taulukossa.

	Itä-Suomen yliopisto	Maanmittaus- laitos	Suomen metsäkeskus	Tapio oy	Luonnonvara -keskus	Kaikki hankeosapuolet yhteensä
Henkilötyökuukaudet						
2021	0,00	0,33	0	n/a	0,32	0,65 *
2022	2,72	2,22	1	n/a	1,91	7,85 *
2023	5,80	7,53	5	n/a	1,91	20,24 *
Koko hankkeen ajalta	8,52	10,08	6	n/a	4,14	28,74 *
josta MMM:ltä haettu työpanos henkilötyökuukausina						
2021	0	0,23	0	n/a	0,22	0,46 *
2022	0	1,55	1	n/a	1,34	3,89 *
2023	4,06	4,89	5	n/a	1,34	15,29 *
Koko hankkeen ajalta	5,96	6,69	6	n/a	2,90	19,64 *

* ei sisällä Tapio oy:n henkilötyökuukausia

2.4. Raportointi, julkaisut ja seuranta

2.4.1. Tieteelliset julkaisut

1. Junttila S, Näsi R, Koivumäki N, Imangholiloo M, Saarinen N, Raisio J, Holopainen M, Hyyppä H, Hyyppä J, Lyytikäinen-Saarenmaa P, Vastaranta M, Honkavaara E (2022) Multispectral Imagery Provides Benefits for Mapping Spruce Tree Decline Due to Bark Beetle Infestation When Acquired Late in the Season. *Remote Sens.* 14(4): 909. <https://doi.org/10.3390/rs14040909>.
2. Kanerva H, Honkavaara E, Näsi R, Hakala T, Junttila S, Karila K, Koivumäki N, Oliveira RA, Pelto-Arvo M, Pölönen I, Tuviala J, Östersund M, Lyytikäinen-Saarenmaa P (2022) Estimating Tree Health Decline Caused by *Ips typographus* L. from UAS RGB Images Using a Deep One-Stage Object Detection Neural Network. *Remote Sens* 14: 6257. <https://doi.org/10.3390/rs14246257>.
3. Turkulainen E, Honkavaara E, Näsi R, Oliveira RA, Hakala T, Junttila S, Karila K, Koivumäki N, Pelto-Arvo M, Tuviala J, Östersund M, Pölönen I, Lyytikäinen-Saarenmaa P (2023) Comparison of Deep Neural Networks in the Classification of Bark Beetle-Induced Spruce Damage Using UAS Images. *Remote Sens.* 5:4928. <https://doi.org/10.3390/rs15204928>.

2.4.2. Käsikirjoitukset

1. Lintunen J, Hyyrynen M (2023) Economic benefits of early reaction to natural disturbances in forestry: The case of spruce bark beetles [käsikirjoitus]
2. Lyytikäinen-Saarenmaa P, Simon D-C, Aalto J, Gregow H, Honkavaara E, Näsi R, Tuviala J, Pelto-Arvo M, Kilpeläinen A, Tikkanen O-P, Peltola, H (2023) Modeling predisposition of Norway spruce stands to bark beetle outbreak risk by means of forest characteristics and environmental data [käsikirjoitus]
3. Simon D-C, Lyytikäinen-Saarenmaa P, Pelto-Arvo M, Tuviala J, Kosunen M, Honkavaara E, Näsi R, Tikkanen O-P, Kilpeläinen A, Peltola H (2023) Infestation symptoms as indicators of a sustained bark beetle outbreak in conserved and managed Norway spruce stands in south-eastern Finland [käsikirjoitus, lähetetty sarjaan *European Journal of Forest Research*]
4. Tuviala J, Lyytikäinen-Saarenmaa P, Kosunen M (2023) Modelling the probability of *Ips typographus* L. damage with the multi-source national forest inventory data [käsikirjoitus]
5. Östersund M, Honkavaara E, Oliveira RA, Näsi R, Hakala T, Koivumäki N, Pelto-Arvo M, Tuviala J, Lyytikäinen-Saarenmaa P (2023) A methodology for individual

tree-based monitoring of an Ips typographus L. outbreak area using multispectral UAS imaging [lähes toimitusvalmis käsikirjoitus]

2.4.3. Opinnäytetyöt

1. Kanerva H (2022) Detection of spruces damaged by the European spruce bark beetle from unmanned aerial vehicle imagery using deep learning [M.Sc Thesis, Aalto university]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202210236136>.
2. Malm M (2023) European spruce bark beetle (Ips typographus L.) in storm-felled Norway spruce trees in southeastern Finland [M.Sc Thesis, University of Helsinki]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-202306132567>.
3. Tuviala J (2023) Kirjanpainajatuhoriskin ennustaminen VMI-monilähdeinventointiaineistolla [maisterintutkielma, Helsingin yliopisto]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-202306132564>.
4. Turkulainen E (2023) Deep learning techniques for analysis of individual tree health from drone images [M.Sc Thesis, Aalto university]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202303262583>
5. Östersund M (2022) Monitoring bark beetle infestation using remote sensing [M.Sc Thesis, Aalto university]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202210165925>.

2.4.4. Seminaarit

1. Lyytikäinen-Saarenmaa P (2023) Puun ja kuoren välissä - varautuminen ilmastonmuutoksen moninkertaistamiin kirjanpainajatuhoihin (Monituho) ja Madonluvut kuusikoille? – Varautuminen tulevaisuuden kuusituhoihin (Sprucerisk) [esitelmä]. Webinaari: Ajankohtaiskatsaus kehittämistoimintaan kirjanpainajatuhojen ehkäisemiseksi 15.3.2023. Maa- ja metsätalousministeriö. <https://ssl.eventilla.com/metsatuhoseminaari03112023>.
2. Pelto-Arvo M, Aalto J, Honkavaara E, Tuviala J, Lintunen J, Höglund H, Ylioja T, Kuutti V (2023) Madonluvut kuusikoille? Uusia menetelmiä metsätuhojen hallintaan [webinaari]. Sprucerisk- ja Monituho-hankkeiden päätöswebinaari 12.10.2023. Tapio oy. <https://tapio.fi/tapahtumat/madonluvut-kuusikoille-uusia-menetelmia-metsatuhojen-hallintaan/>.
3. Tuviala J, Honkavaara E (2023) Sprucerisk-hankkeen tuloksia [esitelmä]. Hiilestä kiinni -metsätuhojen hallinnan päätösseminaari 3.11.2023, Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö. <https://ssl.eventilla.com/metsatuhoseminaari03112023>.

4. Honkavaara E (2021) Maanmittauslaitos: "Autonomiset dronit puiden terveyden analysoinnissa". Dronet maa- ja metsätaloudessa -seminaari ja yhteiskehittämistyöpaja 26.10.2021 kello 8.30–12.00. Järjestäjä Vähähiilisyttä tukevat dronepalveluratkaisut Etelä-Suomessa -hanke.
5. Honkavaara E. Detecting and monitoring of spruce bark beetle outbreaks in boreal forests using drone remote sensing. Invited presentation in the Integrated Digital Forestry Initiative (iDiF) lecture series at Purdue University, 3/2022.
6. Eija Honkavaara, Heini Kanerva, Raquel Alves de Oliveira, Samuli Junntila, Kirsi Karila, Niko Koivumäki, Roope Näsi, Mikko Pelto-arvo, Ilkka Pölönen, Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa. Efficient UAS remote sensing techniques for the spruce bark beetle management, ForestSat 2022.
7. Honkavaara Eija, Detecting and monitoring abiotic and biotic damage of forest using spectral drone remote sensing, Linneaus University Forest Damage Workshop, 29.3.2023, Kutsuesitelmä.
8. Honkavaara Eija, Advances in UAS based multi- and hyperspectral remote sensing for digital agriculture. XX SBSR, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 4/2023. Kutsuesitelmä
9. Honkavaara, Eija. ASPECT - Autonominen UAV spektrometriaan perustuva puun kunnan analysaattori, Suomen Akatemian ICT2023-ohjelman mediatilaisuus, 4/2023, Kutsuesitelmä
10. Honkavaara, Eija, "The future of hyperspectral imaging in the field of agriculture and forestry applications, technology and global trend drivers"AGATE Hyperspektrikuvantamisen seminaarisarja. Creating insights beyond the visible 11.9.2023
11. Turkulainen Emma, Deep learning techniques for analysis of individual tree health from drone images, Finndrones 2023, Salo.
12. Simon, D-C, Lyytikäinen-Saarenmaa, P, Pelto-Arvo, M, Honkavaara, E, Näsi, R, Tikkanen, O-P, Kilpeläinen, A., Tuviala, J. & Peltola, H. 2023. Temporal pattern of infestation symptoms by *Ips typographus* L. in boreal spruce forest in southeastern Finland. In: Mäkipää, R. & Berninger, K. (eds.). Climate resilient and sustainable forest management: IBFRA conference 28-31 August 2023. Book of abstracts. Natural Resources and Bioeconomy Studies 77/2023. Natural Resources Institute Finland. Helsinki. ss. 161.
13. Lyytikäinen-Saarenmaa, P, Simon, D-C, Aalto, J, Gregow, H, Laurila, T, Honkavaara, E, Näsi, R, Pelto-Arvo, M, Kilpeläinen, A, Tikkanen, O-P, Tuviala, J & Peltola, H 2023. Modeling predisposition of boreal Norway spruce forests to bark beetle infestations. In: Mäkipää, R. & Berninger, K. (eds.). Climate resilient and sustainable forest management: IBFRA conference 28-31 August 2023. Book of abstracts. Natural

Resources and Bioeconomy Studies 77/2023. Natural Resources Institute Finland. Helsinki. ss. 111.

2.4.5. Lehtiartikkelit

1. Lyytikäinen-Saarenmaa P (14.6.2023) [Metsien terveys uhattuna – kirjanpainaaja kuusien tappajana](#). Ilmastokatsaus 25(6): 8–10.
2. Tuononen J, Höglund H (30.8.2022) [Metsien kasvavaan tuhoriskiin on syytä varautua](#). Puumies-lehti.

2.4.6. Blogikirjoitukset

1. Höglund H (25.10.2023) [Kuollut puu on hyvä kaksoisagentti](#). Metsään-lehden blogi.
2. Blomqvist M, Kosunen M, Törmänen T (28.6.2023) [Maaperätutkimus auttaa kirjanpainajatuhojen ymmärtämisessä](#). Tapion blogi.
3. Höglund H (22.6.2023) [Kuinka suhtaudut kirjanpainajan tappamaan puuhun?](#) Tapion blogi.
4. Höglund H (22.6.2023) [Puustotuhojen torjuntaa kausiflunssasta tutuin keinoin](#). Metsään-lehden blogi.
5. (5.10.2022) [Yhteistoimintaa kuusikoiden metsätuhoihin varautumisessa](#). Tapion uutiset.
6. Näsi R, Pekkarinen A (28.6.2022) [Droonien keräämä data auttaa metsien kirjanpainajatuhojen varhaisessa havaitsemisessa](#). Tapion blogi.
7. Schneider H, Törmänen T (28.4.2022) [Miten taklata kuusikoiden tuhot muuttuvassa ilmastossa?](#) Tapion blogi.

2.4.7. Podcast

1. Metsäkeskus (2023) Mättäällä-podcastin Metsätuhoista pitää puhua -sarja, neljä jaksoa. [Mättäällä-podcast | Podcast on Spotify](#)

2.4.8. Opetusmateriaali

1. Tapio oy (2023) Kirjanpainajan koulutusmateriaali [luonnos, Liite 2]
2. Tapio oy (2023) Juurikäävän koulutusmateriaali [luonnos, Liite 3]

2.5. Toteutusvaiheen arviointi

Hanketta valmistellessa asetimme tietyt päätavoitteet, joista suurin osa saatiin toteutettua. Hanketyön aikana kuitenkin esiintyi aikatauluongelmia, jonka vuoksi esim. laajan mittakaavan riskimallit jäivät vielä toteutumatta. Laajojen aineistojen käsittelyyn kuluva aika on usein vaikeaa määritellä täsmällisesti etukäteen, mikä riippuu myös yllättävistä seikoista (mm. sairastelut, poissaolot, henkilövaihdokset ym.). Käynnissä on yhä keskeneräisiä tutkimusaineistojen analyyskejä ja tutkimusjulkaisujen käsikirjoituksia, jotka tehdään loppuun saakka muiden hankkeiden tuella.

Juurikäpätutkimuksen aineiston keräämisessä oli useita ongelmia. Tietokatkoksesta johtuen, tutkimusalue oli hakattu ennen kuin aineiston kerääminen saatiin loppuun. Tutkimussuunnitelmaa jouduttiin muuttamaan. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kohde olisi pitänyt maastolaserkeilata ja selvittää, voidaanko tyvilaho havaita kyseisellä kaukokartoitustekniikalla, mutta tästä suunnitelmasta jouduttiin luopumaan. Ennenaikainen hakkuu johtui henkilöstömuutoksesta ja kommunikaatiokatkoksesta tutkimusalueen metsänhoitotöistä vastuussa olevassa metsäfirmassa. Tapahtunut virhe oli inhimillinen, eikä tapahtunutta olisi voinut ennustaa. Toinen ongelma liittyi aineiston laatuun. Optimitalanteessa aineiston keräämistä olisi jatkettu heti myöhäissyksyllä hakkuiden tapahduttua, mutta se toteutettiin vasta seuraavana keväänä. Hakkuusta oli kulunut aikaa, ja kannoista oli huomattavan vaikea arvioida juurikäävän esiintymistä (Kuva 3). Kerätty aineisto osoittautui osittain käyttökelvottomaksi. Mikäli vastaava tutkimus toteutetaan uudestaan, juurikäävän havainnointi kannoista tulee tehdä heti hakkuiden jälkeen, ei kuukausia myöhemmin. Aineiston käsittely aiheutti lisätyötä, mutta hankepartnereiden yhteistyöllä aineisto saatiin käytettävään muotoon. Vastoinkäymisistä huolimatta hankkeen juurikäpään liittyvistä tavoitteista ei siis jouduttu täysin luopumaan.



Kuva 3. Kanto, josta keväällä arvioitiin juurikäävän esiintymistä. Puu oli hakattu jo edellisenä syksynä, joten kannon pinnalle oli noussut nesteitä ja pihkaa, vaikeuttaen arviointia. Kaikki kannot eivät kuitenkaan näyttäneet tältä, ja aineisto saatiin lopulta kerättyä. Kuva Johanna Tuviala.

Työpaketti 3 toteutuksessa taloustieteellistä mallinnusta haittasi projektin toteutusjaksolle osunut hankeruuhka ja se, että osa avaintyöntekijöistä ei ollut käytettävissä suunnitellusti. Myös työpakettiin kuulunut mallinnustyö muutti muotoaan osin sen vuoksi, että toteutus siirtyi HY:stä UEFiin ja osin siitä syystä, että taloudellisen mallinnuksen kasvumallille asettamat vaatimukset selkiytyivät projektin aikana. Tämän tyyppisissä projekteissa talousmallinnus on aikataulullisesti viimeisenä ja siihen liittyvät aikatauluviivästykset tahtovat kertautua. Näihin haasteisiin nähden työpaketti 3 pystyi hyvin tuottamaan relevantit esimerkkilaskelmat, joilla pystyttiin tarkastelemaan tavoitteiden mukaisia kysymyksiä.

Työpaketti 4 painopiste metsänomistajien neuvontapalveluissa ja riskiennusteissa muuttui muissa hankkeissa tuotettujen aineistojen (kirjanpainaopas ja -verkkokurssi) jalkauttamiseen tietotuotteiden ja palveluiden kehittämisen sijaan. Tähän vaikuttivat muiden työpakettien edistyminen sekä tietojärjestelmähaasteet. Perustiedon koulutus sekä tulevaisuuden riskimallien käytännön toteutus saivat kuitenkin jalansijaa ja ymmärrystä hankkeessa tehdystä selvitystyöstä. Käytössä olevien työkalujen parantamiseen ohjattiin rahoitusta hankkeelta, jotta kehitystyön tulokset saatiin nopeammin käytäntöön. Hankeyhteistyö hankkeen loppuvaiheessa mahdollisti podcast-toteutuksen monikanavaistamaan metsätuhotietouden jalkauttamista.

Hankkeen yhteenveto jää aina hankkeen loppuvaiheeseen, jolloin tulosten valmistuminen hieman aiemmin olisi yhteenvedon kannalta toimivampaa ja johtopäätösten vetoon voisi käyttää enemmän projektiryhmän yhteistä panosta. Myös viestintää olisi hyvä toteuttaa hankkeen loputtua, kun tulokset ja yhteenveto on valmista. Tämä mahdollistaisi paremman yhtenäisten johtopäätösten ja sanoman hiomisen.

Hankkeen aikana olevat henkilöstömuutokset vaikuttavat myös valitettavasti hieman hankkeen etenemiseen ja toimintaan. Tapiossa hankkeen loppuaikana vaihtunut projektivastuullinen muutti valitettavasti toimintamallin ja opetusmateriaalin valmistumisen aikataulua hidastavasti. Kuitenkin ne hankkeen aikana ehdittiin toteuttaa.

Hankkeen niukka budjetti tuotti hieman ongelmia aikataulun ja töiden toteutuksen suhteen. On myös erittäin hankalaa löytää ketään pätevää henkilöä, jos käytettävissä on vain korkeintaan 2–3 kk työsuhde/vuosi. Hankkeen aikana käytettiin hyvin paljon aikaa ulkopuolisen lisärahoituksen hakemiseen, mikä vasta vuoden 2023 alkaessa on tuottanut tulosta. Hanke toimi ns. siemenrahoituksella muille, laajemmille hankkeille, mutta niiden toteutumisen onnistumista tai ajoittumista ei voitu ennakoita. Varsinkin yliopistoilla kaikki rahoitus on ulkopuolista, kilpailtua rahoitusta. Tällä budjettikehyksellä toteutettava hanke toimisi parhaiten, jos partnereita olisi korkeintaan 2–3 ja hankevuosia ehkä kaksi. Maastotyöt ja kaukokartoituskampanjat ovat erittäin työvoimavaltaisia ja kustannuksia vieviä, mikä tulisi huomioida rahoituspäätöksissä.

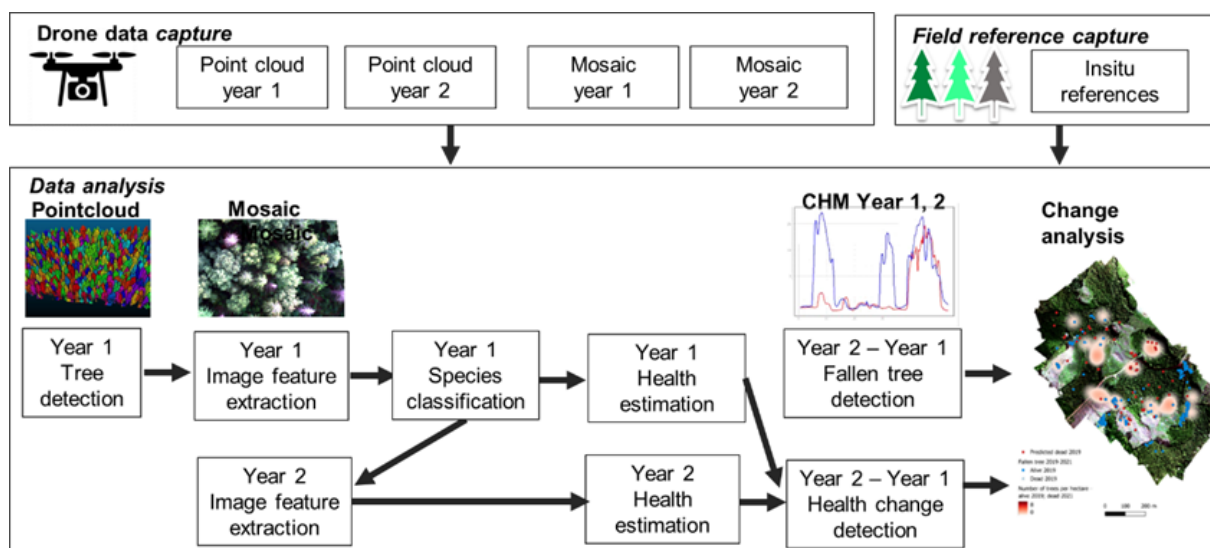
3. Tulokset ja niiden arviointi

3.1. Tulosten esittely

3.1.1. Kaukokartoitusmenetelmien kehitys

Kirjanpainatuhojen kartoitus ja seuranta dronekaukokartoituksella

Ruokolahden monivuotisia aineistoja käyttäen kehitettiin muutostulkintamenetelmä koko tuhoalueen muutosten määrittämistä varten. Menetelmän toimintaperiaate esitetään kuvassa 4. Ehdotettu analysointimenetelmä koostuu viidestä päävaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa yksittäiset puut tunnistetaan UAV-pistepilvistä. Tämän jälkeen tunnistetuille puille poimitaan multispektrikuivilta tulkinassa hyödynnettävät piirteet. Kolmannessa vaiheessa koulutetaan luokittelijat (tässä tutkimuksessa Random Forest) puulajiluokituksen suorittamista varten sekä tunnistetaan puujoukosta kuusipuut, jotka ovat alttiita kaarnakuoriaisten hyökkäyksille. Neljäs vaihe käsittää kuusipuiden terveystuokitus. Viimeisessä vaiheessa metsän muutokset tunnistetaan etsimällä kaatuneita puita vertaamalla eri vuosien CHM (canopy height model)- ja puiden terveystuokitus, tuottaen esimerkiksi muutostuokitus ja muutostilastoja. Menetelmästä on valmisteilla käsikirjoitus (Östersund ym. 2023).



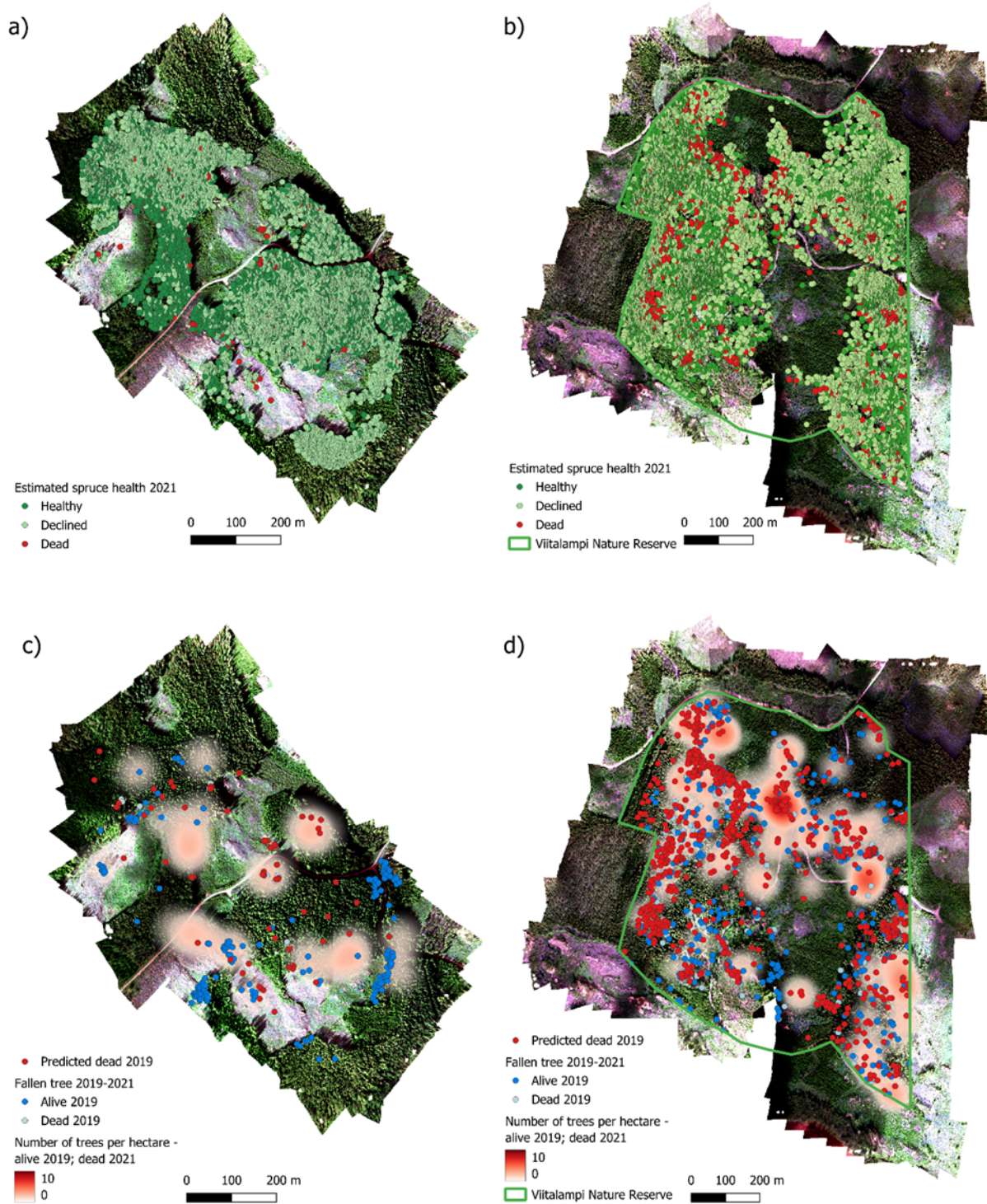
Kuva 4. Ruokolahden alueen muutostulkintaan kehitetty menetelmä (Östersund ym. 2023).

Sentinel-2-aineistojen tutkimuksessa kehitettiin menetelmä, joka hyödyntää droneaineistoja satelliittikuvien tulkinassa.

Kehitettyä muutosseurantamenetelmää käytettiin muutosten arvioimiseksi Ruokolahden alueella. Puiden tunnistuksessa tarkkuusarvot vaihtelivat välillä 0,55–0,91. Tulokset olivat parempia talousmetsissä kuin suojelumetsissä, johtuen talousmetsien yksinkertaisemmasta metsän rakenteesta. Puulajiluokituksessa puut jaettiin luokkiin ei-kuusi, kuusi ja kuollut kuusi. Kokonaistarkkuudeksi saavutettiin 0,89. Terveysarvioinnissa saavutettiin luokittelutarkkuudet 0,96 terveille, 0,40 rappeutuneille ja 0,98 kuolleille kuusille. Kokonaistarkkuudeksi kaatuneiden puiden tunnistuksissa saavutettiin 0,97. Kuva 5 havainnollistaa muutoksia Ryhmälehdonmäen ja Viitalammen alueella. Kuolleet puut vuonna 2019 osoittavat seurannan alkutilan. Muutos elävien puiden tilasta vuonna 2019 kuolleiden puiden tilaan vuonna 2021 visualisoidaan punaisella lämpökartalla, joka näyttää uusien kuolleiden puiden ilmestymisen hehtaaria kohden. Nämä hotspot-alueet korostavat alueita, joilla epidemia leviää. Lisäksi visualisoidaan puut, jotka olivat pystyssä vuonna 2019 (kuolleita tai eläviä puita) ja olivat kaatuneet vuonna 2021. Tämä aineisto mahdollistaa monenlaiset metsän muutosanalyysit, kuten kirjanpainajatuhon leviämisen sekä talous-, hiili- ja biodiversiteettivaikutusten analysoinnin.

Hankkeessa kerättyjä aineistoja hyödynnettiin myös syväoppivien neuroverkkomenetelmien käytön tutkimuksessa yhteistyössä MMM-Unite- ja Suomen Akatemian Aspect-hankkeiden kanssa. Tulokset raportoitiin artikkeleissa Kanerva ym. (2022) ja Turkulainen ym. (2022). Etukäteisoletus on, että syväoppivat menetelmät antavat paremman suorituskyvyn kuin klassiset luokittelumenetelmät, kuten Random Forest, jota käytettiin edellisessä vaiheessa. Lisäksi syväoppivat menetelmät ovat skaalautuvia ja soveltuvat hyvin laajojen alueiden tulkintaan. Niiden haaste on että ne vaativat suuret opetusaineistot, pienillä opetusaineistoilla perinteiset menetelmät ovat suositeltavia.

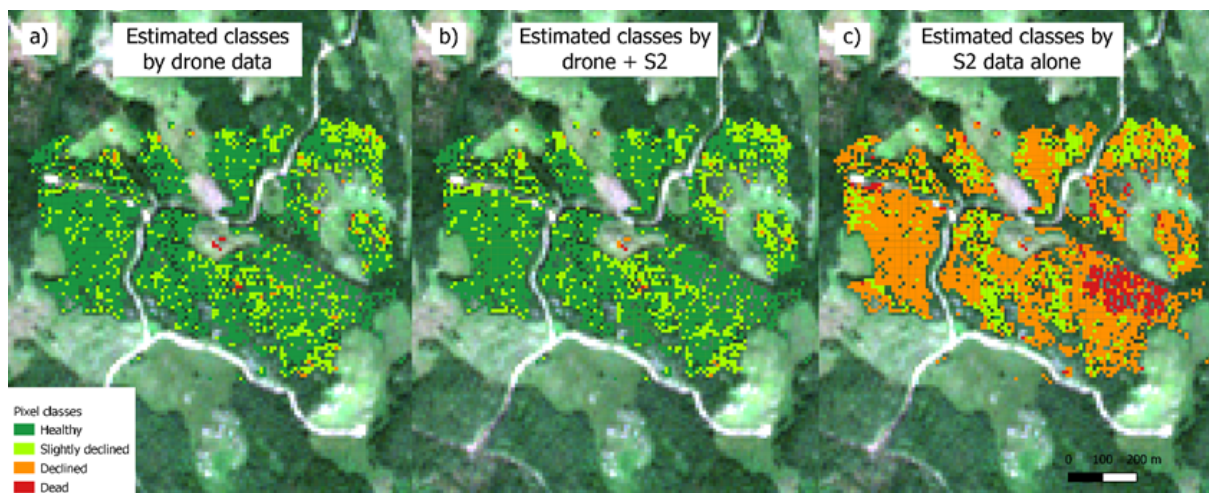
Vuonna 2023 toteutettiin Kolilla 1,3 km² laajuinen kirjanpainaja-alueen monitorointi Kelluu oy:n ilmalaivoilla. Tämä kokeilu demonstroi dronemenetelmän skaalautuvuutta. Tulevaisuudessa droneilla voidaan kuvata laajoja alueita. Syöttämällä laajojen alueiden dronekuvat em. syväoppiviin neuroverkkoihin saavutetaan tehokas ja skaalautuva tulkinta.



Kuva 5. Kuusipuiden terveyden muutosanalyysi, Terveyskartat a) Ryhmälehdonmäellä ja b) Viitalammella sekä muutuskartat c) Ryhmälehdonmäellä ja d) Viitalammella. Muutuskartoilla punaiset pisteet osoittavat kuolleet kuuset vuonna 2019 ja vuodesta 2019 vuoteen 2021 tapahtunutta terveydentilan muutosta kuvataan lämpökartalla ja puiden kaatumista kuvataan sinisillä pistellä (Östersund ym. 2023, käsikirjoitus).

Satelliittipohjainen seuranta

Satelliittitulkinnan tavoitteena oli tuottaa laajojen alueiden terveystilavuokitus luokkiin terve, heikentynyt kuollut. Haasteena satelliittikuvatulkinnan kehityksessä oli vähäinen maastoreferenssien määrä. Tavoite oli tuottaa pikselipohjainen opetusaineisto koelohiin perustuvasta maastoreferenssistä, koska 10 × 10 m -pikseliin sisältyi tyypillisesti puulajiltaan ja/tai terveydentilaltaan erilaisia puuta. Opetusaineistona käytettiin sekä suoraan koelohien tietoja (89 opetuspikseliä) että kehitettiin uusi menetelmä, jossa muodostettiin dronekuvilta tuotettujen terveystietojen pohjalta pikselikohtainen opetusaineisto (10923 opetuspikseliä). Kehitetty Sentinel-2-satelliittikuviin perustuva menetelmä tuotti 10 × 10 m -rasterikartan puuston terveydestä (Kuva 6). Droneaineistoihin perustuva opetus tuotti lupaavan tarkkuuden, kokonaistarkkuus oli 89 % (Kuva 6b), mutta koelohiin perustuva menetelmä ei tuottanut realistista tulosta (Kuva 6c). Syitä pelkkiin koelohiin perustuvan menetelmän heikkoon suorituskykyyn olivat suuri vaihtelu kohteessa sekä pieni opetuspikselien lukumäärä (Östersund 2022). Menetelmä kehitettiin yhteistyössä MMM Monituho-hankkeen kanssa.



Kuva 6. Murtomäen koelohien 10 m x 10 m resoluution tarkkuudella tehdyt puuston terveystietokartat perustuen a) droneaineistoihin, b) Sentinel-2-kuviin ja droneaineistosta tuotettuun opetusaineistoon ja c) Sentinel-2-kuviin ja suoraan koelohista tuotettuun opetusaineistoon.

Eri monitorointimenetelmien vertailu ja johtopäätelmät

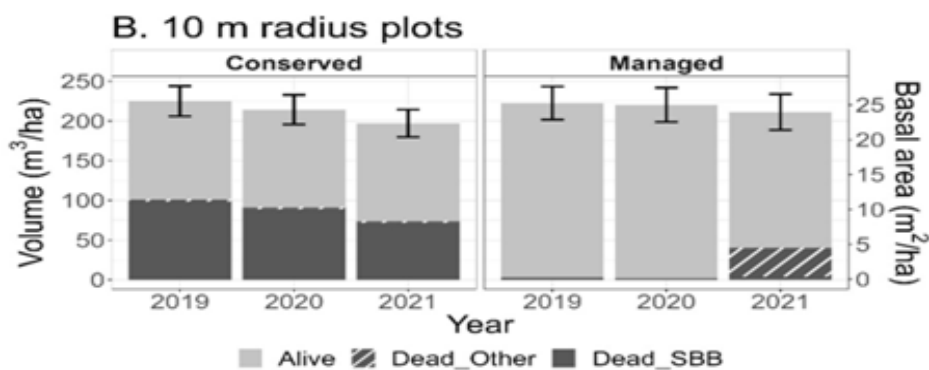
Tulosten perusteella voidaan vertailla satelliitti- ja dronekuvien hyödyntämistä. Dronemenetelmällä on useita etuja. Dronet tuottavat cm-resoluutioista kuva-aineistoa, mikä mahdollistaa terveystietojen yksittäisen puun tarkkuudella. Menetelmä on ketterä, eli kartoituksia voidaan tehdä myös pilvisellä säällä. Tulevaisuudessa näkökentän ulkopuolella tapahtuva lentäminen lisääntyy, jolloin aineistoja voidaan kerätä myös laajoilta alueilta. Dronemenetelmän haaste on kustannukset, koska aineistot eivät ole ilmaisia.

Satelliittipohjainen seuranta on erittäin kiinnostava, koska se mahdollistaa laajojen alueiden kustannustehokkaan seurannan. Haasteena erityisesti Sentinel-2-aineistoilla on että yhteen 10 m × 10 m -pikseliin mahtuu monenlaisia puita, jolloin menetelmän tarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin dronemenetelmässä. Toinen haaste on että pilvet estävät optisten satelliittikuvien käytön, ja pilvettömiä kuvia saadaan tyypillisesti yksi kuukautta kohden kesäaikana.

Yhdessä nämä kaksi menetelmää muodostavat tehokkaan työkalun sekä pienten että laajojen alueiden seurantaan.

3.1.2. Puuston oireiden aikasarjat kuvaamassa metsän terveydentilan muutosta

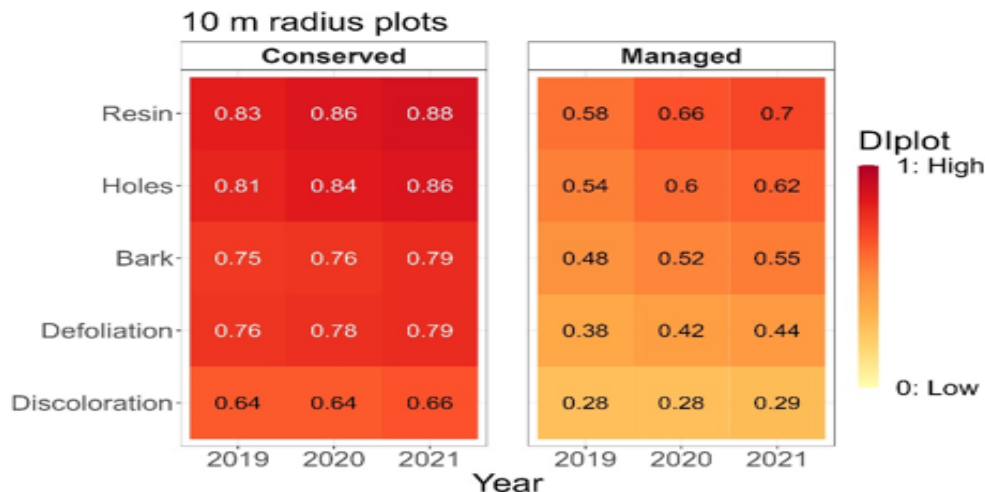
Kirjanpainajan kolonisaatio oli jo osittain voimakasta Metso-suojelualueilla vuonna 2014, mikä näkyi eri oireyppien esiintymisessä koealojen kuusissa. Viitalammella jo noin 75 % koealojen kuusista oli saavuttanut voimakkaan oiretason, mutta Paajasensalossa pihkavuodosta ja kaarnavaurioista kärsiviä kuusia oli noin 50 % koealojen puista. Vuonna 2015 molemmilla koealueilla noin 80–90 % arvioiduista kuusista kärsi voimakkaista runko- ja latvusoireista, mikä taso vakiintui vuosille 2015–2021. Kirjanpainajan tappamat kuuset alkoivat kaatua noin 4–5 vuotta kolonisaation käynnistymisen jälkeen, mikä alensi hehtaarikohtaista pohjapinta-alaa ja pystypuiden runkotilavuutta. Kirjanpainajan tappamien kuusien runkotilavuus ja pohjapinta-ala olivat huomattavasti suuremmat suojelualueilla kuin talousmetsissä (Kuva 7). Aikaisemmin kuolleiden ja oireilevien kuusien tuholaukut laajenivat populaation ollessa yhä voimakas, mikä korvasi kaatuneiden tuhopuiden osuuden.



Kuva 7. Kirjanpainajan (SBB) tappaman kuusipuun tilavuus ja pohjapinta-ala vuosina 2019–2021 suojelualueilla (vasen) ja talousmetsissä (oikea). Tilavuuden ja pohjapinta-alan aleneminen johtuu tuhopuiden kaatumisesta (Simon ym. 2023, käsikirjoitus).

Tutkimusalueen talousmetsissä runko-oireiden vaurion indeksi-arvot jäivät tasolle noin 0,5 ja latvusoireet tasolle 0,3–0,4 (voimakkaan oireen maksimi on 1). Metso-suojelumetsissä runko-oireiden indeksin taso oli noin 0,75–0,95 ja latvusoireiden 0,65–0,79 vuosina 2019–2021 (Kuva 8). Vaurioindeksin muutos talousmetsissä oli suurempaa kuin

luonnonsuojelualueilla, missä oireilevien puiden osuus oli jo vakiintunut korkealle tasolle. Talousmetsissä tehokas metsähygieniä ja tuulenkaatojen korjuu estivät kirjanpainajan populaation voimakkaan runsastumisen ja siitä johtuvat voimakkaat oireet sekä puuston kuoleman. Pystypuiden pohjapinta-ala korreloi positiivisesti ja kuolleiden kuusien osuus negatiivisesti vaurioindeksin kanssa molemmissa metsänhoidollisissa vaihtoehdoissa, mutta riippuvuus oli voimakkaampi suojelumetsissä. Kuusen järeys ei vaikuttanut vaurioindeksin arvoon, mikä on seurausta kuusen kaikkien järeysluokkien alttiudesta kirjanpainajalle.

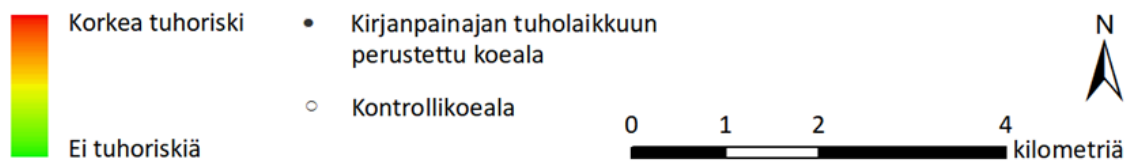
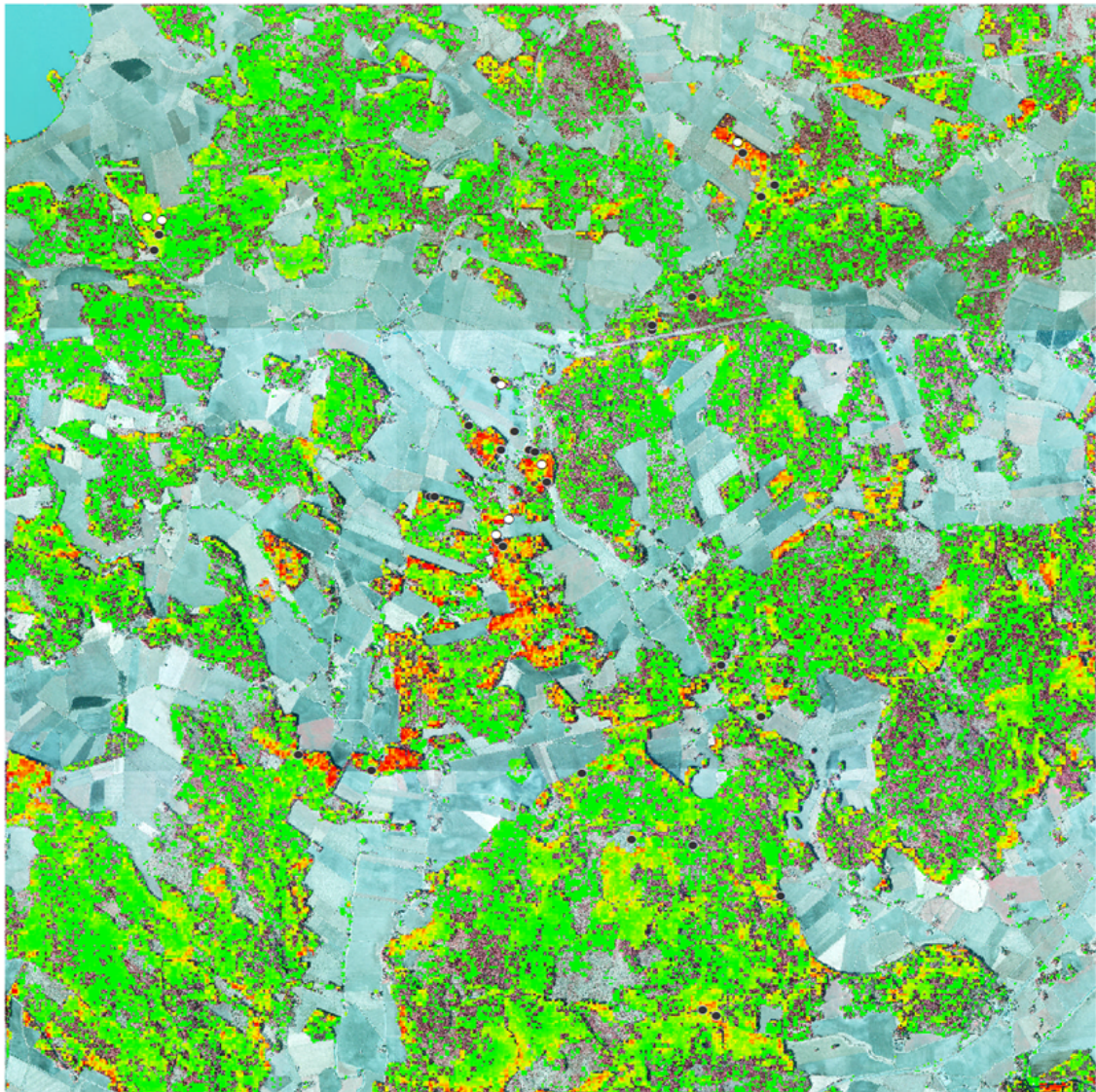


Kuva 8. Kirjanpainajan aiheuttamat puusto-oireet koelakohtaisina vaurioindekseinä ilmaistuna (Dlplot) suojelualueella (vasen) ja talousmetsissä (oikea). Vaalea väri indikoi matalaa indeksin arvoa ja tumma väri korkeaa (Simon ym. 2023, käsikirjoitus).

3.1.3. Kirjanpainajatuhoriskiä onnistuttiin mallintamaan avoimilla aineistoilla

Avoimien paikkatietoaineistojen avulla oli mahdollista ennustaa kirjanpainajatuhoriski litin tutkimusalueelle. Kehitetyn logistisen regressiomallin oikeinluokitusprosentti oli 82 %, jonka mukaan malli onnistui ennustamaan tuhon todennäköisyyden hyvin. Negatiivinen ennustearvo oli 88 %, mutta positiivinen ennustearvo vain 59 %. Malli siis ennustaa paremmin terveet metsäalueet kuin kirjanpainajatuholle riskialttiit alueet. Tämä saattaa johtua siitä, että Suomessa tuhoalueet ovat toistaiseksi pinta-alaltaan pieniä ja sijaitsevat pirstaleisesti metsämaisemassa. Mallin voi olla vaikea ennustaa tällaista satunnaisesti metsässä esiintyvää ilmiötä.

Kirjanpainajatuhon riskiä selittävät muuttujat olivat korkeus merenpinnan yläpuolella, etäisyys avoimeen alueeseen, lehtipuiden latvuspeitto, kuusitukin tilavuus ja rinteiden ilmansuunta. Mallin mukaan runsas lehtipuiden latvuspeitto ja metsän sijainti etelärinteessä vähensivät tuhoriskiä. Sijainti alavalla maalla, lyhyt etäisyys avoimeen alueeseen ja suuri kuusitukin tilavuus lisäsivät tuhoriskiä. Nämä tulokset vahvistivat aiempaa tutkimustietoa siitä, että sekapuustoisuus vähentää tuhoriskiä ja rinteiden ilmansuunnalla on tuhoriskin kannalta merkitystä. Mallin avulla luotiin paikkatieto-ohjelmassa riskikartta (Kuva 9), jossa jokaiselle tutkimusalueelle peittävälle 20 × 20 m -hilalle on laskettu kirjanpainajatuhon todennäköisyyttä kuvaava prosentti.



Kuva 9. Logistisen regressiomallin avulla tuotettu riskikartta. Tuhoriski on laskettu hiloille, joissa puuston keskiläpimitta on yli 16 cm ja valtapuulaji on kuusi tai metsä on sekametsää, eli vain niille hiloille, joissa kirjanpainajatuho olisi mahdollinen. Kartassa näkyvät myös maastossa kartoitetut kirjanpainajan tuholaikut ja tervettä puustoa edustavat kontrollikoealat (Tuviola 2023). Taustakartta on Maanmittauslaitoksen tuottama vääräväriortokuva keväältä 2014 (ladattu 13.3.2018).

3.1.4. Talousmallit – nopea reagointi tuhoihin avainasemassa

Taloudellisia vaikutuksia tarkasteltiin metsikkötason esimerkein vaihdellen riskitasoa ja puutavaralajitappioiden suuruutta eri skenaarioissa. Puutavaralajitappioiden suuruus määräytyi metsänomistajan kyvystä havaita alkava hyönteistuhon aikaisin ja reagoida siihen nopeasti päätehakkaamalla ja uudistamalla metsikkö (ks. menetelmät [2.1.6.](#)). Tarkastelun kohteena oli Kaakkois-Suomessa sijaitsevan MT-kuusikon jaksollinen kasvatus. Metsänomistaja maksimoi odotettua paljaan maan arvoa, kun vuotuinen tuottovaatimus oli 3 prosenttia.

Ilman tuhoriskiä paljaan maan arvo oli yläharvennuksia käytettäessä noin 2250 euroa/ha ja tavoitekiertoaika 85 vuotta. Alaharvennuksia käyttäen paljaan maan arvo oli noin 1900 euroa/ha ja tavoitekiertoaika 75 vuotta. Tuhoriskin ollessa voimassa odotettu paljaan maan arvo aleni yläharvennuksilla 60–350 euroa/ha ja alaharvennuksilla 30–280 euroa/ha riippuen riskitasosta ja puutavaralajitappioiden suuruudesta. Molemmilla harvennustavoilla tavoitekiertoaika pidettiin ennallaan tai lyhennettiin suurimmillaan 10 vuotta. Pienimmät muutokset paljaan maan arvoon ja kiertoaikoihin saatiin matalan riskin ja puutavaralajitappioiden tapauksessa. Suurimmat muutokset korkean riskin ja puutavaralajitappioiden skenaarioissa.

Melko suureksi kasvavat odotetun paljaan maan arvon menetykset johtuvat siitä, että tuhon osuessa kohdalle ja puutavaralajitappioiden kasvaessa suuriksi, menetykset voivat olla suuria. Odotetun paljaan maan arvossa tämä korostuu, kun tuhoriskin todennäköisyys kasvaa. Siten metsän käsittelyä kannatti muuttaa etenkin, jos puutavaralajitappioita ei pystytty estämään tarpeeksi nopealla reagoinnilla. Tällöin tavoitekiertoaikaa kannatti mallilaskelmissa lyhentää. Lisäksi mallilaskelmissa harvennuksia sopeutettiin tavoitekiertoajan lyhennykseen. Niitä voimistettiin ja aikaistettiin tarpeen mukaan hieman molemmilla harvennustavoilla.

Erillisessä laskelmassa huomioitiin metsikön biomassan sitoman hiilen yhteiskunnallinen arvo hiilidioksiditonin päästöhinnalla 30 euroa. Hiilen sidonnan arvon huomioiminen johti tapauskohtaisesti 20–35 vuotta pidempiin tavoitekiertoaikoihin. Lisäksi harvennuksia myöhennettiin ja kevennettiin. Pidennetyt kiertoajat johtavat siihen, että metsät ovat suuremman osan ajasta ikäluokissa, joita kirjanpainajat uhkaavat. Silti tavoitekiertoaikoja kannatti laskelmissa pidentää, vaikkakin maltillisemmin niissä tapauksissa, joissa puutavaralajimenetykset olivat suurimpia.

Tuloksien mukaan metsänkäsittelyä kannattaa sopeuttaa kirjanpainajatuhoriskin vuoksi etenkin, jos riski on kohonnut ja puutavaralajitappioita ei voida riittävästi rajoittaa nopealla reagoinnilla. Nopea reagoitokyky mahdollisti metsänhoitosuunnitelman muuttamisen välttämisen ja taloudellisten kustannusten rajoittamisen. Keskeinen metsänkäsittelyn sopeuttamistapa oli tavoitekiertoajan lyhentäminen niin, että korkean riskin varttuneen metsän vaihetta saadaan ajallisesti rajattua. Hiilensidontahyödyt puolestaan kannatti huomioida tavoitekiertoaikoja pidentämällä myös tilanteessa, jossa kirjanpainajatuhoriski oli

korkea. Tuhoriskin huomioiminen ja tuhoriskien realisoituminen kuitenkin alensi hiilensidonnan hyötyjä.

3.2. Tulosten vieminen käytäntöön

3.2.1. Tuhotietoudesta viestiminen

Käytännön metsätalouden avuksi tuotettuja materiaaleja on hyödynnetty hankkeen aikana viestinnässä, metsänomistajien neuvonnassa sekä kaarnakuoriais- ja puustotuhoteemaisissa koulutustilaisuuksissa. Tilaisuuksissa on myös kuulosteltu kentän mielteitä ja toiveita metsätuhojen kanssa toimimiseen ja toiminnan kehittämiseen. Keskustelut tilaisuuksissa muistuttivat kaarnakuoriaistuhojen yleistyneen laajemmin (Kaakkois-Suomea lukuunottamatta) vasta viime vuosina ja ovat näin monelle uusi asia käytännössä. Tulosten viemisestä käytäntöön opittiin, että meneillään olevaa tutkimusta ja sen tavoitteita pitää esitellä ennakkoiden. Viestinnän ja tiedottamisen merkitystä kaarnakuoriaistuhoihin varautumisessa korostettiin myös Forest Future -konferenssissa 20.–23.6.2022 (<https://www.vulhm.cz/en/forests-future-2022/>) Tšekin tasavallassa, jossa jaettiin kokemuksia Keski-Euroopan kirjanpainajatuhoista. Metsäkeskus osallistui konferenssiin osin Monituhon- ja Sprucerisk-hankkeiden rahoituksella. Itä-Suomen yliopisto ja Luonnonvarakeskus myös osallistuivat konferenssiin. Hankkeen tuloksia hyödynnettiin myös hankkeessa tuotetun opetusmateriaalin sisällössä ja näin ollen tulokset siirtyvät eteenpäin vielä sen myötä. Opetusmateriaali jaetaan metsäalan ammattikorkeakouluille ja metsänhoidon suositusten Avainkouluttajaryhmälle, joista se jalkautuu isoon osaan metsäalan toimijoita.

3.2.2. Jäytääkö juurikäpää, kurittaako kirjanpainaja -tapahtumat (JJKK)

Jäytääkö juurikäpää, kurittaako kirjanpainaja -tapahtumista hanke oli mukana 26 tapahtumassa, joissa tavoitettiin 757 osallistujaa (Taulukko 4). Tapahtumat organisoitiin pääasiassa Hiilestä Kiinni- hankkeiden yhteistyönä. Järjestelyissä mukana olevat hankkeet tavoittivat kohderyhmät osana tapahtumakokonaisuuksia. Toimintamalli tiedon jalkauttamiseen koettiin toimivaksi. Järjestelyistä vastasi Metsäkeskus.

Taulukko 4. Jäytääkö juurikäpää, kurittaako kirjanpaina -tapahtumien järjestäjät ja osallistujamäärät.

Pvm	Tapahtuma	Osallistujat	Järjestäjä
3.10.2023	Metsätuhot ja kuolleen puun turvallinen säästäminen	130	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Monimetsä
	Monimetsä: Metsätuhot ja kuolleen puun turvallinen säästäminen, webinaari - YouTube		Tallenteella 178 katselukertaa lokakuussa 2023, ei sisälly osallistujamääriin
20.9.2023	JJKK maasto Jyväskylä	27	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastokestävä metsätalous Keski-Suomessa
6.9.2023	JJKK verkko	13	Sprucerisk & TyviTuho
6.9.2023	JJKK live Huittinen	18	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Hyvinvointia metsän elinkeinoista
6.9.2023	JJKK live Tampere	12	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Metsien hiilinielu kasvuun Pirkanmaalla
6.9.2023	JJKK live Kuopio	13	Sprucerisk & TyviTuho
6.9.2023	JJKK live Jyväskylä	23	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastokestävä metsätalous Keski-Suomessa
6.9.2023	JJKK verkko	7	Sprucerisk & TyviTuho
6.9.2023	JJKK live Joensuu	12	Sprucerisk & TyviTuho
6.9.2023	JJKK live Seinäjoki	6	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastoviisaat pohjalaismetsät
30.8.2023	JJKK maasto Turku	36	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Hyvinvointia metsän

			elinkeinoista
15.6.2023	JJKK maasto Vihti kunnat	10	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä alueellinen SMK-metsänhoitotiimi
15.6.2023	JJKK maasto Vihti metsänomistajat	24	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastoviisas metsänomistaja – Klimatsmart skogsägare
15.6.2023	JJKK	35	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Metsien hiilinielu kasvuun Pirkanmaalla
7.6.2023	JJKK maasto Savonlinna	20	Sprucerisk & TyviTuho
16.5.2023	JJKK sisä + maasto Lahti	17	Sprucerisk & TyviTuho
26.4.2023	JJKK verkko	30	Sprucerisk & TyviTuho
26.4.2023	JJKK live Turku	34	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Hyvinvointia metsän elinkeinoista
26.4.2023	JJKK live Lappeenranta	10	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä MeTuKKa
26.4.2023	JJKK live Joensuu	20	Sprucerisk & TyviTuho
26.4.2023	JJKK live Laukaa	16	Sprucerisk & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastokestävä metsätalous Keski-Suomessa
26.4.2023	JJKK verkko	28	Sprucerisk & TyviTuho
26.4.2023	JJKK live Savonlinna	17	Sprucerisk & TyviTuho
26.4.2023	JJKK live Kuopio	14	Sprucerisk & TyviTuho
31.3.2023	JJKK pilotti mhy Etelä-Savo	80	Sprucerisk & TyviTuho
8.12.2022	Neuvontatyökalut tuhoihin, SMK pilotti	75	Monituho & Sprucerisk (SMK sisäinen)
yhteensä	26 tapahtumaa, 757 osallistunutta		

Videoista ja tallenteista hankeyhteistyönä tuotettu "[Kuinka varaudut kirjanpainajaan muuttuvassa ilmastossa](#)" keräsi 363 katselua julkaisunsa jälkeen (1.9.–31.10.2023)

Tapahtumatallenne [Kurittaako kirjanpainaja](#) löysi katseluun 267 kertaa julkaisunsa jälkeen (21.6–31.10.2023).

3.2.3. Toimintamalli varautumiselle ja yhteistyölle

Taustat ja tarve toimintamallille

Hankkeen yhtenä tavoitteena on tuoda informaatiota yhteistyön parantamisen tarpeisiin. Lähtökohtana on kuusen tuhoriskien tietoisuuden lisäys. Kirjanpainajan ja juurikäävän kautta, tulevat niin metsänomistajille kuin metsäammattilaisille sen verran tutuksi, että tuhojen sattuessa omalle kohdalle toimintamalli on valmis niitä hoitamaan ja ennen kaikkea torjumaan tulevaisuuden kasvavaa tuhoriskiä. Yhteistyön parantamisen toimintamallia varten hankkeessa pidettiin työpaja, jossa aiheesta käytiin pienryhmäkeskusteluja aiheen ympärillä. Työpajassa koottiin myös pääviestejä toimintamallin parantamiseksi. Hankkeessa on käyty myös eri toimijoiden kanssa keskusteluja koulutuksissa ja muissa yhteyksissä.

Kirjanpainajatuhoista ollaan yhä enemmän huolissaan, kun tuhoja on viime vuosina löytynyt pienimuotoisina Keski-Suomea myöten eikä vain Kaakkois-Suomi- ja rannikkopainotteisesti. Keski-Euroopan ja Ruotsin tuhotilanne ja sen jälkeiset tapahtumat ovat olleet niin merkittävät metsäalan ja metsiin liittyvien kaikkien intressien kautta. Massiiviset tuhot muuttavat taloutta, virkistystä, luontoa ja sosiaalisia lähtökohtia, joiden merkitystä ei ole mahdollista tuoda auki lyhyesti.

Tämän hetken tilannekuva Suomessa

Kirjanpainaja on Euroopassa kotoperäinen laji, joka on viime vuosina aiheuttanut tuhoja kuusikoille laajoilla alueilla Keski-Euroopassa ja Etelä-Ruotsissa. Aiemmin tuhohyönteisten aiheuttamaa metsätuhoriskiä on Suomessa perinteisesti pidetty melko vähäisenä. Olosuhteet ovat rajoittaneet kirjanpainajan lisääntymismahdollisuuksia mutta ympäristöolosuhteet ovat kuitenkin muuttuneet nopeasti, mikä suosii kirjanpainajan menestymistä. Tulevina vuosikymmeninä lämpimämmät ja kuivemmat olosuhteet selvästi edistävät kuivuutta ja altistavat kuuset kirjanpainajalle kuusien heikkenevien puolustusmekanismien kautta. Lämpösummakertymä kasvaa ja kirjanpainajaa suosivaa lämpösummakertymää esiintyy koko ajan pohjoisempana. Kirjanpainajan lisääntyminen ja sukupolvien moninaistuminen on mahdollistunut ensimmäistä kertaa Suomessa vuonna 2010, jolloin havaittiin ensimmäistä kertaa toinen sukupolvi kesän aikana. Suomessa vahingot ovat toistaiseksi olleet suhteellisen vähäisiä, mutta paikallisella tasolla jo aiheuttaneet merkittävää haittaa. Massaesiintymien todennäköisyys ja mittakaava tulevat oletettavasti sään ääriolojen yleistymisen ja vuotuisen lämpösummakertymän kohoamisen myötä Suomessakin kasvamaan. Kirjanpainajan tuottama tuhoriski kasvaa todennäköisimmin Suomen eteläosissa, Oulu–Joensuu-akselin lounaispuolella.

Vuodesta 2011 lähtien Suomi on kärsinyt vaihtelevista ja lisääntyvistä kirjanpajan aiheuttamista puustotuhoista maan etelä-, keski- ja kaakkoisosissa. Kaakkois-Suomessa tuhojen alkuvoimana oli vuoden 2010 suuri Asta-myrsky, josta kirjanpajan aiheuttamat seuraustuhot ovat lähteneet liikkeelle. Vuoden 2022 hyönteistuhojen takia ilmoitettu hakkuupinta-ala oli poikkeuksellisen suuri, yli 7000 ha, josta suurin osa oli kirjanpajan aiheuttamaa. Vuoden 2023 hyönteistuhohakkuuilmoituksia on 24.11.2023 mennessä tehty yli 3770 ha, joka sekin on huomattavasti enemmän, kuin 2010–2020 välisenä aikana. Poikkeuksellisen kuivat ja lämpimät kesät ovat selvästi aktivoineet kirjanpajatuhojen esiintyvyyttä, jota on vielä edesauttanut erilaiset abioottiset tuhot jonka takia vaurioitunutta puustoa on ollut vaihtelevia määriä. Ilmastonmuutoksen pidentyneiden kasvukausien lisääntymisen lisäksi yksi suurimmista syistä kohonneisiin kirjanpajaesiiintymiin on vaikuttanut Suomessa 1990-luvulta lähtien laajalle levinnyt käytäntö edistää kuusen viljelyä. Käytäntö on johtanut kuusen valta-asemaan maan eteläosissa. Kuusta on istutettu myös liian kuiville, kuuselle sopimattomille paikoille. Kaikki edellä mainitut seikat kuusenuurikäävän kanssa aiheuttavat Suomessa tulevana vuosikymmeninä lisääntyvää kirjanpajatuhoriskiä.

Juurikäpä on luontainen sieni, joka leviää sulan maan aikaisissa hakkuu- ja metsänhoitotoimissa, joissa puuaineksen pintaa paljastuu katkaisussa tai kolhuissa, jolloin sieni-itiöt pääsevät kasvamaan puuainekseen.

Kuusenuurikäpä on yleinen eteläisessä Suomessa ja esiintyminen vähenee pohjoiseen mennessä. Eritoten rannikkoalueilla ja viimeisimpien tutkimusten mukaan ensimmäisten sahojen ja niihin kohdistuneen puun hankinta-alueiden kautta juurikäpä on levinnyt, koska kantokäsittelyaineita ei ole ollut ja niitä ei aluksi 1970-luvulla haluttu käyttää. Kuusen tyvilahoa esiintyy paljon, mutta sille on olemassa melko hyvät torjuntakeinot oikein käytettynä. Ainoastaan raivaussahatöissä, joissa havupuutaimien sahaus muodostaa riskin, ei ole käytettävissä olevaa tehokasta sulankauden torjuntakeinoja. Talviaikainen toiminta, puulajin vaihto tyvilahoalueilla ja korjuuvaurioiden välttäminen eivät ole aina mahdollisia keinoja. Juurikäävän aiheuttaman tyvilahon heikentämät kuuset ovat myös alttiimpia kirjanpajatuhoille. Tuhojen hallintaan on muuttuvan ilmaston takia kehitettävä lisää keinoja ja varhaista tunnistamista, jotta tuhojen laajeneminen ei heikennä metsien moninaista merkitystä. Myös ennaltaehkäisy on mielletty tärkeäksi, koska riskit tuhoille ovat olemassa ja metsien kasvatusta halutaan sopeuttaa tuhoriskejä kestävämmiksi.

Lainsäädännöllinen viitekehys

Metsätuhoihin liittyvä lainsäädäntö on seuraavissa suomalaisissa säädöksissä: laki metsätuhojen torjunnasta (1087/2013), kasvinterveyslaki (1110/2019) ja metsälaki (1093/1996). Metsätuhojen torjunnasta annetun lain tarkoituksena on metsien hyvän terveydentilan ylläpitäminen ja metsätuhojen torjuminen. Lakia sovelletaan metsässä ilmeneviin metsätuhoihin, terminaali- ja tehdasvarastoihin sekä alueen sijainnista riippumatta puutavaran hakkuupaikkoihin ja välivarastoihin. Lakia metsätuhojen torjunnasta

sovelletaan metsäpuissa esiintyviin kotimaisiin tuhonaiheuttajiin, kuten kirjanpainajaan ja juurikäöpään eli myös sienitautien torjuntaan ja myös abioottisiin tuhoihin, kuten tuuli- ja lumituhoihin. Lakia metsätuhojen torjunnasta ja metsälakia sovelletaan metsien hoitoon ja käyttöön metsätalousmaaksi luokitelluilla alueilla. Tämä tarkoittaa, että suojelualueisiin ja alueisiin, joita ei ole määritetty metsätalousmaaksi metsänkäyttö- ja rakennuslaissa, ei sovelleta kyseistä lakia.

Metsätuholaki velvoittaa käyttämään sulan kauden hakkuissa juurikäöpätuhojen torjuntaa kantokäsittelyainein, joiden käyttö vaatii kasvinsuojeluainetutkimuksen. Metsätuholaki velvoittaa metsänomistajia korjaamaan vahingoittuneet havupuut tuoreena metsästä siltä osin kuin niiden määrä ylittää 10 kuutiometriä kuusta ja 20 kuutiometriä mäntyä hehtaarilta. Alle yhden hehtaarin metsissä kyseisiä rajoja sovelletaan metsän alasta riippumatta.

Metsälaki koskee toimia metsissä sen jälkeen, kun metsää on hoidettu ja käytetty. Metsälain tarkoituksena on edistää metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää hoitoa ja käyttöä, jotta metsistä saadaan hyvää tuottoa kestävällä tavalla ja niiden biologinen monimuotoisuus säilyy. Jos metsässä ilmenee tuhoja, metsälaki velvoittaa uudistamaan metsän, jos päätehakkuuala on yli 0,3 hehtaarin suuruinen.

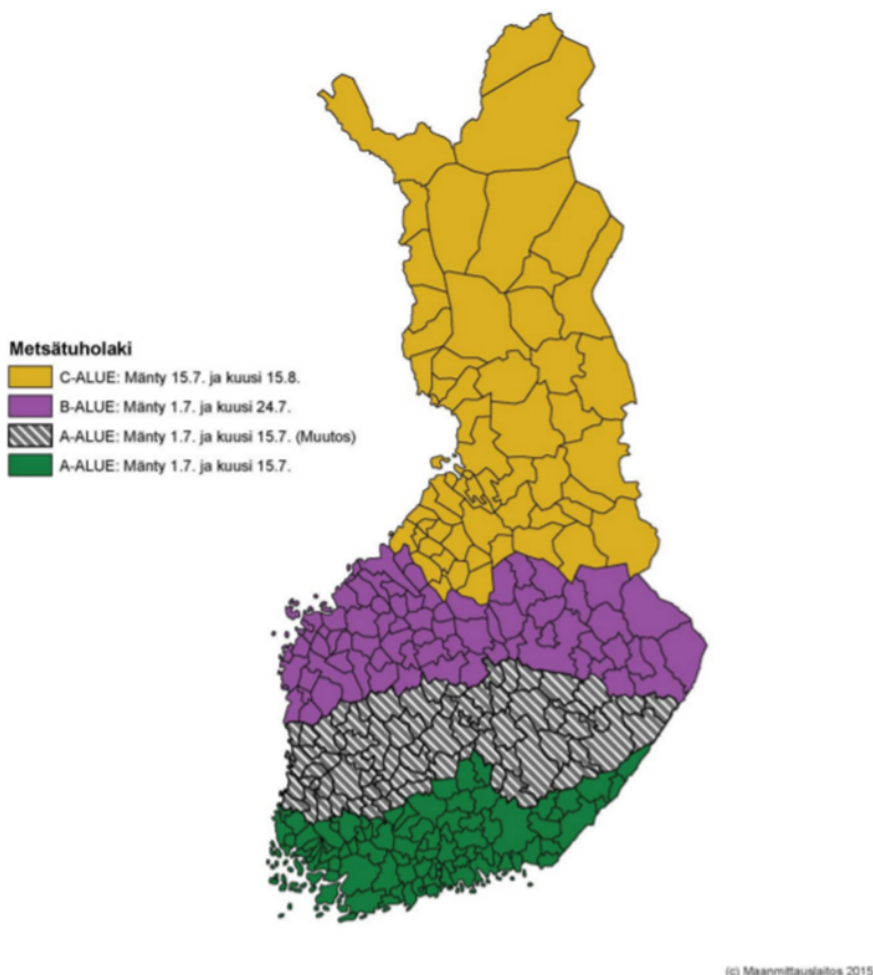
Tapauksia, joissa metsätuholain velvoittamaa tuhopuiden korjuuta ei toteuteta, on muutamia. Tämä tulee kyseeseen, jos metsäalue kuuluu metsälain 10 §:ssä tarkoitettuihin ympäristöihin tai alue kuuluu Natura 2000 -verkostoon. Maanomistajan on ilmoitettava Metsäkeskukselle, jos hän ei ole poistanut vahingoittuneita puita. Metsäkeskuksen tulee sitten seurata näitä luontotyyppejä ja alueita, joille on jätetty vaurioituneita puita, alueiden lahoppuun määrää ja niiltä mahdollisesti leviäviä metsävaurioita. Vaurioitunutta puuta voidaan lisäksi jättää metsiin ylivoimaisen esteen, erittäin poikkeuksellisten olosuhteiden ja kohtuuttoman taloudellisen tilanteen sattuessa. Metsätuhojen torjunnasta annetun lain 9 §:ssä todetaan, että jos metsätuhoja on poikkeuksellisen paljon tai jos laajamittaisen metsätuhon syntymisen tai leviämisen riski on suuri, maa- ja metsätalousministeriö voi määrätä riskialueen metsänomistajia poistamaan metsästä riittävän määrän puita tai muutoin toimimaan tarpeen mukaan. Lain 10 §:ssä todetaan, että puiden poistamisesta aiheutuneet kustannukset ja puun kasvun menetykset korvataan metsänomistajalle, paitsi jos metsänomistaja ei ole noudattanut lakia metsätuhojen torjunnasta joko tarkoituksella tai laiminlyönnin seurauksena.

Metsätuhojen torjunnasta annetun lain 12 §:ssä kuvaillaan vahinkojen seuranta ja vastuita sen toteuttamiseksi. Siinä Luonnonvarakeskuksen (Luke), entiseltä nimeltään Metsäntutkimuslaitos, tehtävänä on Metsäkeskuksen tukemana seurata ja ennakoida kasvitautien ja metsätuhoja aiheuttavien tuholaisten esiintymistä ja leviämistä sekä tutkia tuhojen syy-seuraussuhteita ja niiden taloudellista merkitystä. Luonnonvarakeskus toimittaa seurannan tuloksista vuosittain raportin maa- ja metsätalousministeriölle. Raportit ovat saatavana Luken verkkosivulta samoin kuin tieto seurannan toteuttamisesta.

Metsätuhojen torjunnasta annetussa laissa esitellään lain täytäntöönpanon yleistä ohjausta ja valvontaa, joka kuuluu maa- ja metsätalousministeriölle. Metsäkeskus vastaa lain

täytäntöönpanosta ja sen nojalla annettujen säännösten noudattamisen valvonnasta sekä valvonnan järjestämisestä. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksella voidaan antaa muita säännöksiä tämän lain nojalla Metsäkeskukselle kuuluvien tehtävien hoitamisesta. Vahingoittuneiden puiden, runkojen osien ja kantojen poistamisen valvonnan tulisi tapahtua oikeudenmukaisesti, tasapuolisesti ja säännöllisesti. Metsäkeskuksella on oikeus suorittaa vahinkoja koskevia tarkastuksia. Metsäkeskus laatii ja maa- ja metsätalousministeriö hyväksyy metsävahinkojen valvontasuunnitelman (Suomen metsäkeskuksen valvontasuunnitelma), joka tarkistetaan vuosittain.

Lakiin metsätuhojen torjunnasta ja hallituksen asetuksiin tehdyt muutokset tulivat voimaan vuoden 2022 alussa. Merkittävimmät muutokset koskivat kirjanpainajan ja juurikäpäsienten aiheuttamien tuhojen ehkäisemistä ja omavalvontavelvoitetta. Eteläinen osa eli A-alue laajeni pohjoissuuntaan, aina Suomen keskiosiin asti. (Kuva 10).



Lähde: Suomen metsäkeskus.

Kuva 10. Lakiin metsätuhojen torjunnasta tehty muutos tuli voimaan vuoden 2022 alussa, jolloin aluejako muuttui kuvassa osoitetulla tavalla.

Laki velvoittaa poistamaan vahingoittuneet puut määrän ylittäessä rajan. Lain valvonnan ja täytäntöönpanon resurssit ovat kuitenkin vähäiset. Tästä syystä metsänomistajat saattavat jättää vahingoittuneen puutavaran metsään tarkoituksella tai vahingossa, jos he eivät ole tietoisia metsälleen aiheutuvasta vahingosta, jota metsäviranomaiset eivät valvo. Tämän seurauksena kirjanpainajalle sopivien lisääntymisalustojen määrä saattaa kasvaa, mikä puolestaan voi johtaa kirjanpainajan massaesiintymien leviämiseen laajemmalle metsiin.

Juurikäävän osalta lainsäädäntö on melko hyvin toimiva, vain raivaussahatyöt ovat sen ulkopuolella, joka johtuu varmasti myös suurelta osin toteutusteknisten ominaisuuksien puutteesta. Eli raivaussahatöihin ei ole olemassa tehokkaita torjuntamenetelmiä.

Hankkeessa esiin nousseet toiminnan pullonkaulat

Hankkeen aikana tietopuutteina esiin on noussut monelta tuhoihin liittyvältä osa-alueelta, kuten seurannasta ja tunnistuksesta, joita hankkeessa myös on tutkittu. Esiin on noussut, että tuhonkestävyys-, monimuotoisuus- ja ilmastotavoitteiden välillä voi olla ristiriitaa. Työpajassa mietittiin myös vastuunjaon toimivuutta. Onko päävastuuta ottavaa tahoa, vai jokainen toimii yksin omalla tahollaan? Koulutuksissa ja työpajassa todettiin aiheen ympärillä olevan byrokratian olevan hidasta. Maisematyöluvulle mietittiin ohituskaista tuhometsässä ja epäselvyyttä edelleen löytyy, esimerkiksi minkä koetaan olevan tuho vaikkapa taajamametsissä. Varsinkin kunta- ja kaupunkimetsissä on edelleen epäselvyyttä kenen vastuulla tuhot ovat. Kuten monessa muussakin aiheessa niin tuhojen kanssa toimiessa myös resurssien riittävyys nähtiin ongelmaksi ja ennakoitiin panostaminen.

Hankkeessa tunnistettuja toimintamallin osa-alueita ovat:

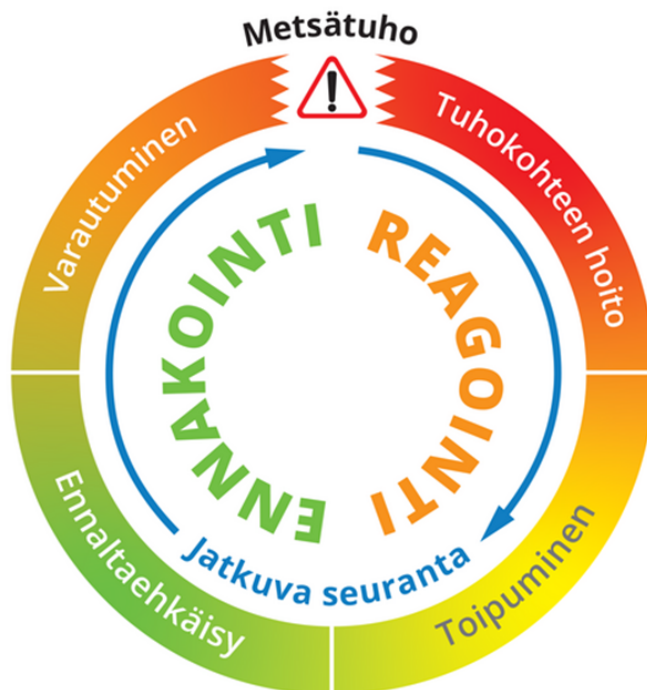
- toimijoiden välisen tiedonkulun varmistaminen,
- metsänomistajien ja metsäalan toimijoiden tuhotietoisuuden lisääminen,
- tuhojen torjunta toimijoiden yhteisillä resursseilla ja
- tuhojen inventointi ja kustannustehokas seuranta.

Alla kuvailtu toiminta tuhojen hallinnan parantamiseksi on vain osa kokonaisuutta, jossa on keskitytty hankkeessa käsiteltyihin aiheisiin ja vaiheisiin. Kokonaisvaltaisempi tarkastelu on kyllä tarpeen ja Sprucerisk-hanke on pyrkinyt tuottamaan siihen hyviä lähtökohtia.

Toimintamallin tavoite

Toimintamallin tavoitteena on tuoda esiin aihealueita ja keinoja, joilla toimintaa voidaan entisestään kehittää ja mitä hankkeessa on tullut esiin painotusalueiksi. Metsätuhojen hallinnan vaiheet ovat muotoutuneet laajassa sidosryhmäyhteistyössä ja aiemmin käytetyissä yhteyksissä ennakoitiin ja reagoitiin, joita tukee jatkuva seuranta. Tässäkin

toiminnan kehittämisessä metsätuhojen hallintaa on tuotu esiin metsänhoidon suosituksissa käyttöön otetun Metsätuhojen hallinnan vaiheet -kuvan kautta (Kuva 11). Metsätuhojen torjunta perustuu ensisijaisesti tuhojen syntymisen ennaltaehkäisyyn. Kuitenkaan kaikkia tuhoja ei voi ennaltaehkäistä, joten nopea reagointi estää usein tuhojen laajenemisen. Ehkäisevät toimet on syytä keskittää taloudellisesti merkittävien tuhoniheuttajien riskien ennakointiin, jotta niiden laaja-alaisilta tuhoilta vältyttäisiin. Suomessa eniten toimenpiteitä vaativia uhkatekijöitä ovat kaarnakuoriaisten, juurikäävän ja tuulen aiheuttamat tuhot. Tuhoriskiä hallitaan ennen kaikkea metsäalan toimijoiden ja metsänomistajien yhteistyönä. Yksittäisen metsänomistajan kohdalla keskeistä on tuhojen ehkäisy metsätilalla ja suunnitelmat tuhojen varalla. Tuhoriskien hallinta koostuu eri näkökulmista: ennaltaehkäisy, varautuminen, tuhokohteen hoito ja toipuminen. Metsien tilan seuraaminen on tärkeä osa tuhoriskien hallintaa. Vuotuiset maastokäynnit ja tulevaisuuden teknologia, esimerkiksi satelliiteista saatava tieto metsistä, auttavat suuntaamaan toimenpiteitä. Metsien kestävyyyden lisääminen tuhoniheuttajia vastaan on tärkeä huomioida metsänkasvatuksen kaikissa toimenpiteissä.



Kuva 11. Metsänhoidon suositukset esittävät metsätuhojen hallinnan vaiheet seuraavasti: ennaltaehkäisy, varautuminen, tuhokohteen hoito ja toipuminen. Metsien tilan jatkuva seuraaminen on tärkeä osa kokonaisuutta. Kuva on mukailtu alkujaan lähteestä European Forest Risk Facility 2020.

Tuhoriskin tunnistaminen ja siitä viestiminen metsänomistajille vaatii melko hyvää tarkkuutta tuhoriskin olemassaololle, etteivät metsänomistajat turru turhista tuhoviesteistä. Metsänomistajien omien metsien seuranta on huomattavan suuren metsänomistajajoukon piirissä moninaista, eikä osalla ole minkäänlaista kontaktia metsiinsä. Myös metsänomistamisen moninaiset muodot lisäävät omien metsien seurantaan tuhojen varalta, kun vastuunjako esimerkiksi yhtymissä ja kuolinpesissä ei ole selvillä. Myös metsäomaisuuden merkitys on voinut vähentyä metsänomistajan taloudessa tai muissa arvoissa.

Metsäkeskus tekee jo kohdennettua viestintää tuho- ja tuhoriskialueilla. Viestien perille kulkeminen muuttuvassa toimintakentässä on kuitenkin osin haastavaa. Käyttääkö metsävastuita omaava metsänomistaja sähköisiä vai muita kanavia ja miten tuho tai tuhoriski on tilalla todentunut.

Luonnonvarakeskuksen kirjanpainajaseuranta on maailman mittakaavassa hyvinkin kattavaa. Tiedon jalostaminen metsäammattilaisia ja metsänomistajia kiinnostavaksi ja tarkaksi on vielä haaste. Sähköisiä järjestelmiä, joista tuhotietoutta ja tuhoriskien todellisuutta voi seurata on olemassa. Näissä toimiala on haastanut vastuutahoja siihen, että tieto olisi jalostetumpaa ja saavutettavissa yhdestä paikasta, eikä erotettuna erilaisiin karttajärjestelmiin esimerkiksi. Tämä on osa Suomen metsäkeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen yhteistoimintaa.

Maanmittauslaitos on tehnyt hankkeessa hyvää lisätutkimusta tuhon varhaisesta tunnistamisesta dronen avulla ja kartoittanut satelliittikuviin perustuvaa tuhojen seurantaan. Eritoten laaja-alaisia satelliittikuviin perustuvia tuhojen ja tuhoriskin tunnistusta on metsäala peräänkuuluttanut. Kustannuksiin ei ole ollut suurta halua osallistua toimijoilla tai metsänomistajille tai isot metsäalan toimijat mieluusti kehittävät omia järjestelmiään. Yhteistyötä eri toimijoiden välillä rajoittaa osaltaan varovaisuus kilpailulainsäädännön näkökulmasta. Kuitenkin aiheeseen soveltuvaa yhteistyötä on mahdollista kehittää vähintäänkin niin, että sanoma metsäalan sisällä on yhteinen.

Huomioitava tekijät metsätuhoissa tuhojen hallintasyklin kautta

Ennaltaehkäisy

Ennaltaehkäisy on todettu tuhojen hallinnan tärkeimmäksi osioksi. Ilmastonmuutos vaikuttaa koko ajan lisääntyvästi ja tuhoriski kasvaa mitä pidemmälle eteenpäin ennustetaan. Tämän hetken viljelytaimet kohtaavat kirjanpainajat vasta 50 vuoden kuluttua, jolloin niiden toivotaan kestävän tuhoja. Tuhoriskin ennustetaan kasvavan niin kirjanpainajan kuin juurikäävänkin osalta ja ilmastokestävyyttä on haluttu korostaa metsänhoidossa koko ajan enemmän. Ennaltaehkäisyllä pyritään pienentämään tulevaisuuden tuhoriskiä, johon liittyy esimerkiksi korkean tuhoriskin alueiden tunnistus ja metsänhoidon kehittäminen näitä huomioon ottavaksi. Hankkeessa tuotetun maisterintutkielman (Tuviala 2023) tuloksissa

esimerkiksi savimaiden merkitystä on hyvä kartoittaa kirjanpainajatuhojen osalta lisää ja saada tietoa syy-yhteyksistä.

Ennaltaehkäisyssä tärkeimmäksi osa-alueeksi on muodostunut tietoisuus ja ymmärrys. Metsäammattilaisten ja metsänomistajien tietoisuuden lisääminen on nostettu kaikilla tahoilla esiin. Metsäammattilaisten tietoisuuden myötä myös metsäomistajien tietoisuus kasvaa. Metsänkäyttöilmoitusten teko metsätuhokohteilta on yksi keinoista, joilla tuhoista saadaan tarkentuvaa tietoa ja joka vaatii metsäammattilaisten toiminnan kehitystä. Metsänkäyttöilmoitusten oikeaoppinen täyttö ja käyttö on asia mistä metsäkeskus onkin viimeisen vuoden aikana tuonut esiin.

Viestinnän toimet ovat osa myös tuhonhallinnan muita vaiheita ja kuuluu osana kaikkeen tiedon lisäämiseen. Joten tässä työssä nostetaan esiin kohtia, mitkä eritoten vaativat tehokasta viestintää ja yhtenäistä viestinnällistä sanomaa.

Varautuminen

Varautuminen on vaihe, kun riski kumuloituu ja se on hyvä tunnistaa. Varautuminen vaatii siis tuhoriskin ja tuhojen tunnistusta ja valmiita hyväksi todettuja keinoja toimia, jos sille tulee tarvetta. Metsänomistajien ja -ammattilaisten kirjanpainajan iskeymien tunnistus kasvaa, jos alueen tuhomäärät kasvavat. Tilanne on kirjanpainajan osalta se, että pienialaisia tuhoja on enemmän, joten tunnistus onnistunee aina paremmin, vaikka tilanne ei ole vakava. Varautumistasoa on kuitenkin hyvä edelleen ja jatkuvasti kasvattaa, jotta myös tietoisuus mitkä puut ovat tuhon osalta vaarattomia ja milloin ja miten olisi hyvä reagoida. Monimuotoisuuden, ilmastotavoitteiden ja metsätalouden yhteensovittaminen voi tässä vaiheessa tuoda myös haasteita, jos jo kuolleiden puiden merkityksien tunnistamista ja toimintaa ei sopeuteta oikein.

Sprucerisk- ja Monituho-hankkeen tuottama kirjanpainajaopas on tärkeä osa varautumista. Juurikäävän osalta opas on myös olemassa ja sen päivitys käynnissä. Hankkeessa tuotetaan myös opetusmateriaalia, jota levitetään eri toimijoille ja metsäalan opetukseen.

Aktiivinen tuhovaihe

Tuhovaiheessa varautumisen osio korostuu, jolloin tuhon tunnistaminen ja siihen reagointi olisi hyvä olla mietittynä jo valmiiksi. Vahingon taloudellinen merkittävyys metsänomistajalle riippuu hänen kokonaistilanteestaan, tuhon ja taloudellisen riskin kantokyvystä. Mikä tulkitaan metsätuhoksi, riippuu siitä mikä merkitys sillä on metsänomistajan taloudelle. Yksittäisten puiden tuhot ovat normaalia luonnon monimuotoisuutta.

Kirjanpainaoppaassa on hyvin tuotu metsänomistajille esiin metsätuholain ja metsänomistajan toimintaa ohjaavaa tuhojen määrittelyä vahingoittuneiden runkojen kappalemäärinä.

Tuhokohteen hoito

Tuhokohteen hoito tarkoittaa yleensä hakkuuta, jos vahingoittuneen puun määrä ylittää metsätuholain 10 m³/ha määrän. Pienialaiset ja muutamien runkojen iskeymät eivät heti tarkoita hakkuuta, mutta riskiä tuhon laajenemiselle pitää seurata ja sitten toimia nopeasti, jos näin käy. Tämäkin seuranta on osin haastavaa, koska aktivoitumisen aikana puustoa olisi hyvä seurata jopa viikoittain.

Varttunutta tai päätehakkuukokoista kuusikkoa, jossa tuho on lähtenyt liikkeelle voi olla nyrkkisääntönä tarve päätehakata tuhoalue pikaisesti, ottaen huomioon puukaupan ja taloudellisuuden näkökulmat. Tuhokohteen hoidon erilaisista menetelmistä ei ole kovin kattavia tutkimuksia, missä otettaisiin huomioon talous-, luonto- ja ilmastonäkökulmat laajasti.

Luonnonvarakeskus tutki Sprucerisk-hankkeessa kirjanpainajatuhon taloudellisia näkökulmia, jossa painottui nopea reagointi, jolloin taloudelliset haasteet ovat mahdollisia taklata melko hyvin ja tappiota ei tule. Kuitenkin jos tuhoon ei reagoida nopeasti, on tappiot suurenevat tuhojen suuruuden mukaisesti. Tappiot syntyvät arvokkaan tukkipuun siirtymisestä energiapuuksi ja myös siitä, että kuollutta puuta ei ole syytä korjata kokonaisuudessaan pois. Juurikäävän aiheuttama tyvilaho tuottaa samaa lopputulosta, mutta tuho paljastuu usein vasta hakkuun yhteydessä.

Tuhoihin reagointi onkin asia, jossa voi tulla metsänomistajalle yllätyksiä vastaan. Tuhon ilmaantuessa, joka on yleensä kesäaikaan, ei metsikkökuvio olekaan mahdollisesti puukaupallisesti saavutettavissa. Rajoitteita voi asettaa tiestö, metsikkökuvion mentäessä oleva maasto tai itse metsikkökuvion maasto tai kaavarajoitukset, joilla voi olla maisematyöluvan tarve ennen hakkuuta.

Kunta- ja kaupunkimetsissä kaavarajoitteiden lisäksi on kartoitettu paljon muitakin rajoittavia tekijöitä, kuten suojeltavia eläimiä ja kasveja tai heidän omia laittamia rajoitteita, jolloin tuhon sattuessa toimintaa metsätuholain lisäksi ohjaa luonnonsuojeluun liittyvä lainsäädäntö tai virkistyskäyttö. Tällöin kuntavirkahenkilöstön tilanteena olisi arvioida lainsäädännön päällekkäisyyttä ja merkittävyyttä ja toimia virkavelvoitteiden mukaisesti, joka on koettu paikoin erittäin hankalaksi.

Tuhoihin reagointiin voi myös vaikuttaa metsätalouden toimijoiden toimintaympäristö kesäaikaan, jolloin tehtäillä usein on huoltoseisokkeja ja toimihenkilöt pitävät lomiaan.

Kirjanpainajatuhot alkavat usein jokusien puiden saamalla iskeymillä ja niiden vahingoilla, joten reagointi-aikaa tällä hetkellä vielä on suurempien tuhojen taloudellisten seurausten

välttämiseksi yleensä. Tämä dynamiikka voi kuitenkin muuttua ilmaston muuttuessa ja tilanteen kehittyessä kohti Keski-Euroopassa nähtyjä ongelmia.

Toipuminen

Toipumisvaiheessa seurataan, millä tavoin puusto toipuu tuhosta ja ettei seuraustuhoja pääse syntymään. Laajoja tuhoalueita voidaan joutua uudistamaan viljellen tai luontaisesti. Tällöin puulajivalinnassa on hyvä huomioida, voidaanko sillä vähentää tulevaisuuden tuhoriskiä. Juurikäpätuhoalueilla puulajinvaihto olisi suotavaa, jos se on vain mahdollista. Tähän myös tarvitaan erikseen neuvontaa, että metsänomistajat ymmärtävät tyvituhon hoitovaihtoehtojen mahdollisuudet ja merkityksen tulevaisuuden näkymin.

Toipumisvaiheessa ilmastokestävyys on erittäin tärkeää myös huomioida, koska silloin ollaan osaltaan muodostamassa tulevaisuuden metsiä ja mitään täysin varmaan ratkaisua kummankaan käsitellyn tuhonaiheuttajan kannalta ei ole, jos lehtipuihin ei voida täysin siirtyä.

Jatkuva seuranta

Seuranta ja siihen liittyvä tiedon lisäys on noussut esiin kaikissa tuhoihin liittyvässä keskustelussa ja tarkastelussa. Mitä tarkemmin ja luotettavammin tuhot ja tuhoriskit voidaan kartoittaa, sitä helpompaa kaikki muu toiminta on. Tällöin suosituksia ja viestintää on mahdollista kohdistaa ja kehittää. Itä-Suomen yliopisto ja Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus ovat toimineet tässä uutta tutkimusta ja tietoa tuottaen, jonka kehitystä on edelleen vietävä eteenpäin. Metsäala selvästi on jäänyt odottamaan maan kattavan satelliittikuviin perustuvan kartoitusaineiston tuloa ja pysyttelee ajatuksessaan. Tekoäly ja uudet sovellukset ovatkin tuoneet tähän uusia mahdollisuuksia. Maanmittauslaitoksen hankkeessa tuotettuja menetelmiä voidaan toivottavasti viedä eteenpäin ja tulevaisuudessa ennen kuin tuhot ovat massiivisia saavutamme tarpeeksi hyvän ennakointi- ja varoitussysteemin, joka ei tämän hankkeen myötä voi vielä tulla valmiiksi. Tässä yhteistyötä tarvitaan edelleen tutkivien laitoksien ja metsäammattilaisille ja metsänomistajille palveluja tarjoavien tahojen välillä. Metsäkeskus ja Luonnonvarakeskus ovat luontevia tahoja, jotka voivat tarjota alustan maan kattaville tuhotietous- ja tuhoriskin ennakointijärjestelmille, joilla jo näitä onkin tarjolla karkeammalla tarkkuudella.

Kohdennettavia toimia yhteistyön parantamiseksi

Hankkeessa havaittuja toimia, joilla yhteistyötä parannetaan ovat metsäalan yhteinen tiedonlisäys ja tiedonjako. Vastuuta toiminnasta on jaettu maa- ja metsätalousministeriön toimesta myös Luonnonvarakeskukselle ja Suomen metsäkeskukselle. Toiminta näiden välillä on sinänsä vakiintunutta, mutta silti aiheen vastuunkantoon toivotaan selvää kaaviota

ja vastuutahoa. Byrokratian hitaudelle esimerkiksi maisematyöluvan osalta voisi olla rakennettavissa ohituskaista, jos tuhojen määrä varsinkin lisääntyy merkittävästi tai tuoda vielä selvemmin esiin, että metsätuholain mukaisia toimia voi tehdä näillä alueilla. Tällaisen lausunnon anto ministeriön suulla tarvitsisi kuitenkin tarkat määreet pinta-alan ja maisemamuutoksien myötä, eikä pelkän tuhopuiden korjaamisen, koska se ei johda taloudellisesti kannattavaan toimintaan metsänomistajan kannalta. Lainsäädäntöhierarkian selkeyttäminen metsätuhoalueilla on tarpeen ja siihen vaaditaan yhteistyötä laajemman toimijakunnan kanssa ja mahdollisesti lainsäädännöllisiä muutoksia. Tämä on aihe, joka nousee tulevaisuudessa enenevässä määrin esiin eri tason lainsäädännön lisääntyessä. Toimintaa rajoittavien lainsäädäntöjen yhteensovittaminen ja selkeiden lakihierarkioiden määrittely auttaisi viranhaltijoita työssään. Resurssit ovat pullonkaula monessa toiminnassa kuten tässäkin, niiden varmistaminen ja ohjaaminen on ministeriön ja maan hallituksen vastuulla. Tuhojen ennakointi on nähty alalla tärkeänä ja ennusteet tuhojen lisääntymiselle ovat olemassa, joten aika toimia on ennen katastrofeja.

3.2.4. Opetusmateriaali metsäkoulutukseen

Opetusmateriaali koostettiin metsäkoulutuksen näkökulmasta powerpoint-diasetiksi. Diasetti on luonnosvaiheessa ja liitteenä (Liite 2 ja Liite 3) ja tulee valmistuessaan saataville [hankkeen Tapion kotisivuille](#). Materiaali sisältää perustietoja ja hankkeessa esiin nostettuja asioita sekä hankkeen tuloksia. Opetusmateriaali koottiin sellaiseksi, että se on helposti myös muunneltavissa opettajan/opetuksen toiveiden mukaiseksi supistaen tai laajentaen aihetta. Opetusmateriaaliin koottiin myös linkit eri tietolähteisiin ja toimintoihin, jotta se antaisi pääsyn suoraan ajantasaisiin tietoihin ja olisi sitä kautta myös päivitettävissä helposti.

Opetusmateriaali on loppuraportin liitteistä kokonaisuudessaan löydettävissä. Opetusmateriaali on vielä luonnosvaiheessa, mutta valmistuu hankeajan puitteissa. Projektiryhmä kommentoi ja sitä täydennetään vielä puuttuvilta osin.

Opetusmateriaalista viestitään suoraan AMK-tason opettajille. Opetusmateriaali jalkautetaan mukaan myös metsänhoidon suositusten Avainkouluttajaryhmälle, jossa on mukana noin 80 henkeä eri metsäalan organisaatioista. Näin opetusmateriaali saavuttaa myös metsäalan muita organisaatioita kuin koulut. Opetusmateriaali tulee myös saataville hankkeen kotisivuille kaikille kiinnostuneille, jotka siihen törmäävät hakutoiminnoin tai muuta kautta.

3.2.5. Viestintätoimenpiteet

Blogikirjoituksia, artikkeleita, videoita, tapahtumia ja koulutuksia on jaettu hankekumppaneiden some-kanavissa. Hankkeen julkaisuja on nostettu myös mm. Tapion uutiskirjeissä ja MMM:n Hiilestä kiinni -uutiskirjeissä. Blogeilla, hankesivuilla ja hankkeessa

tuotetuilla artikkeleilla on ollut yhteensä noin 500 lukukertaa (Tapio.fi) 18.10.2023 mennessä.

Hankkeen etenemisestä ja tiedotteista, blogeista, tapahtumista, koulutustilaisuuksista sekä tärkeimmistä tuloksista on tiedotettu sosiaalisessa mediassa. Some-julkaisuilla on ollut noin 1500–4000 näyttökertaa per julkaisu (Tapion LinkedIn, Twitter, Facebook ja Instagram).

Hanketoimijat kirjoittivat vuorollaan blogikirjoituksia hankkeen aikana. Vuonna 2022 julkaistiin Tapion blogikirjoitus [Miten taklata kuusikoiden tuhot muuttuvassa ilmastossa?](#) ja Maanmittauslaitoksen blogi [Droonien keräämä data auttaa metsien kirjanpainajatuhojen varhaisessa havaitsemisessa](#). Lisäksi syksyllä 2022 Puumies-lehdessä julkaistiin Metsäkeskuksen kirjoittama artikkeli [Metsien kasvavaan tuhoriskiin on syytä varautua](#). Syyskuussa 2022 pidettiin työpaja, jossa polkaistiin alkuun yhteisen toimintamallin kehittäminen kirjanpainajaan varautumisesta. Siitä julkaistiin uutinen 5.10.2022 [Yhteistoimintaa kuusikoiden metsätuhoriskeihin varautumisessa](#).

Vuonna 2023 julkaistiin Suomen metsäkeskuksen blogi [Kuinka suhtaudut kirjanpainajan tappamaan puuhun?](#) sekä Tapion, KOKO Forestin ja Helsingin yliopiston yhteisblogi [Maaperätutkimus auttaa kirjanpainajatuhojen ymmärtämisessä](#).

Hanke on tiedottanut ajankohtaisista aiheista mediaa ja muita sidosryhmiä. Median edustajia on kutsuttu mukaan myös hankkeen webinaareihin ja koulutuksiin. Hankkeessa järjestettiin vuoden 2023 aikana kirjanpainajamaastokoulutuksia Helsingissä, Jyväskylässä ja Lahdessa. Tilaisuuksiin kutsuttiin paikalle myös mediaa, minkä seurauksena saatiin ansaittua näkyvyyttä [Yle Uutisissa](#), [Keskisuomalaisessa](#), [Maaseudun Tulevaisuudessa](#) ja [Etelä-Suomen Sanomissa](#).

- Etelä-Suomen Sanomat 1.10.2023 (vain tilaajille): Kirjanpainajat tappavat kuusikoita – tilanne on vakava jo Lahden seudullakin
- Maaseudun tulevaisuus 18.6.2023: Tutkijat pelkäävät, että Helsingin Keskuspuisto muuttuu kirjanpainajainvaasion myötä vähitellen luurankometsäksi
- Keskisuomalainen 12.6.2023 (vain tilaajille): Kirjanpainaja on aiheuttanut laajaa tuhoa Jyväskylän Laajavuoren metsissä – ”Massaesiiintymissä hyvinvoivatkin puut taipuivat”
- Yle 10.6.2023: Kaarnakuoriainen hyökkäsi seikkailupuistoon – kaupungin suosituin ulkoilualue on nyt myös kirjanpainajan temmellyskenttä

Kaikki uutiset, artikkelit ja blogit on koottu [Tapion verkkosivuille](#).

3.3. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet

Yksittäisten puiden oireiden visuaalinen havainnointi työpaketissa 2 kirjanpainajan kolonisaation havaitsemiseksi voi tarjota hyödyllisiä keinoja oikea-aikaiseen riskinarviointiin ja epidemioiden hallintaan. Tällä menetelmällä pystyimme havaitsemaan puiden erilaiset vauriotasot, metsikön kirjanpainajavaurion kokonaismäärän ja metsikön ominaisuuksien sekä metsikön tilavuuden ja pohjapinta-alan muutoksen suojelualueilla ja talousmetsissä. Oireiden visuaalinen tulkinta tarjoaa metsänomistajalle käytännönläheisen menetelmän oman metsätilan metsänterveyden seurantaan. Visuaalista havainnointia voidaan käyttää myös tukemaan kaukokartoituspohjaisten havaintomenetelmien jatkokehitystä ja validointia käyttämällä satelliitti-/dronekuvia, LiDAR-kuvia ja maanpäällistä LiDAR-tekniikkaa hyödyntävää maastohavainnointia. Viime kädessä tarvitaan sekä maastossa tapahtuvaa visuaalisia havainnointia että kaukokartoitusmenetelmiä, joiden käyttö täydentää toisiaan.

Kirjanpainajatuhon riskimallia, joka hankkeessa kehitettiin, tullaan hyödyntämään Metsäkeskuksen Metukka (Metsätuhot kuriin Kaakkois-Suomessa) -hankkeessa. Riskimallia käytetään Metsäkeskuksen kirjanpainajatuhoriskikarttapalvelun kehityksessä, parantamaan kirjanpainajan iskeymälle alttiiden alueiden ennustamista. Kyseisen karttapalvelun avulla metsäalan toimijat ja metsänomistajat voivat seurata hyönteistuhojen maantieteellistä ilmaantumista ja etenemistä. Etenkin etämetsänomistajille palvelusta on hyötyä. Kuten hankkeen aikana on todettu, puustotuhoista ja niiden riskeistä täytyy puhua, jotta asia muistetaan huomioida metsänhoidossa. Riskikartta on hyvä työkalu herättelemään metsänomistajia oman metsän tuhoriskeihin ja reagoimaan niihin.

Työpaketissa 3 tehty mallinnus mahdollisti harvennusten optimoinnin tarkasteltaessa metsätaloutta kalibroidun hyönteistuhoriskin ja hiilensidontahyötyjen vallitessa. Tulokset tuovat valoa siihen, kuinka metsänhoitoa tulisi sopeuttaa kaarankuoriaisriskin vallitessa, kun optimoidaan puuntuotantoa tai puuntuotannon lisäksi hiilensidontahyötyjä. Lisäksi tulokset täsmentävät ymmärrystä siitä, kuinka nopea reagoiminen ja siten puutavaralajitappioiden rajaaminen vaikuttaa metsänkäsittelyn sopeutumistarpeeseen ja taloudellisiin kustannuksiin. Metsätuhojen nousua merkittäviksi eri puolilla Eurooppaa on näillä tuloksilla kansainvälistä arvoa. Tässä tehtyä kehitystyötä on tarkoitus jatkaa EU-rahoitteisessa Funpotential-hankkeessa ja viestiä sen puitteissa kansainvälisesti sidosryhmille ja tiedeyhteisölle. Jatkotutkimuksissa on tärkeää jatkokehittää talousmallien hyödyntämiä riskimalleja, jotta metsänkäsittelyohjeistusta voidaan kehittää täsmällisemmin eri tilanteisiin paremmin sopivaksi.

Kirjanpainajatuhojen ja puusto-oireiden maastoaineisto on kansainvälisessäkin mittakaavassa erittäin harvinainen ja laaja kokonaisuus, mitä on yhteensä kerätty 12 vuoden aikana. Vastaavanlaista tietovarantoa ei ole Suomessa ja vain hyvin harvassa Euroopan maassa. Tämä on jo huomattu kansainvälisissä alan tutkijoiden verkostoissa ja yhteistyö on jo tuottanut EU-rahoitteisen RESDINET-hankkeen, kuten myös Suomen Akatemian

rahoittaman MULTIRISK-hankkeen. Kaukokartoitusmenetelmien kehittämistä eri mittakaavatasoilla ja yhdistämistä riskimalleihin tulisi kehittää edelleen ja tuottaa kansalaisten käyttöön selkeä lyhyen aikaperspektiivin ennustemalli ja ammattikäyttöön enemmän muuttujavaihtoehtoja ja ilmastoskenaarioita sisältävä riskinhallinnan työkalu. Metsän dynaaminen kehitys myös yhdistetään riskinarviointiin, mikä toteutetaan myöhemmissä hankkeissa (SA MULTIRISK). Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää metsänhoidon suositusten uudistamisessa ja lisääntyvien tuhoriskien huomioimisessa kansallisessa metsäohjelmassa. Hankkeen tuloksista on tekeillä kaksi väitöskirjaa (Pelto-Arvo, Simon) ja viisi maisterintutkielmaa on valmistunut (Kanerva 2022, Östersund 2022, Malm 2023, Turkulainen 2023, Tuviala 2023). Tuloksista tuotetaan useita tutkimusjulkaisuja.

Kaukokartoitusaineistojen luokittelua koskeva tutkimus tuotti aineistoja, analyysimenetelmiä ja puuston terveystarkkailuja. Aineistot dokumentoivat kirjanpainajatuhojen etenemisen tutkimusalueilla ja niitä voidaan hyödyntää jatkotutkimuksissa riskimallinnuksen kehittämiseksi. Aineistot ovat keskeisiä kaukokartoitusmenetelmien kehittämistä ajatellen ja tuloksia jo julkaistiin referoiduissa lehdissä ja opinnäytteinä (Kanerva ym. 2022, Kanerva 2022, Östersund 2022, Turkulainen ym. 2023, Turkulainen 2023) sekä niitä tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa tieteellisissä julkaisuissa.

Hankkeen tilaisuuksissa ja koulutuksissa osallistujat ovat kiitelleet tietouden lisäyksestä ja sen tärkeydestä ja mahdollisuudesta kuulla ja nähdä metsätuhoja paikan päällä. Läsnäolotilaisuuksille olisi kysyntää niin metsänomistajien kuin metsäammattilaisten joukossa. On eri asia katsoa ja keskustella tuhoista niiden olemassa olevilla paikoilla, kuin katsoa kuvia, vaikka niistäkin hyötyä on. Tiedon jalkautus on tärkeä osa metsätuhojen ennakoimista ja reagoimista, johon hankkeella on ollut merkittävä vaikutus hankkeen aikana. Yhteistyö eri organisaatioiden välillä tuottaa tiedon jalkautukseen moniulotteisemman otteen ja luo synergioita tilaisuuksissa. Metsätuhoista on tärkeää viestiä ilmastokestävyyden ohella myös monimuotoisuuden ja muiden näkökulmien kautta, jota hankkeessa on myös tuotu esiin.

Liitteet

Liite 1: Policy brief

Liite 2: Opetusmateriaali metsäkoulutukseen, kirjanpainaja, luonnosversio

Liite 3: Opetusmateriaali metsäkoulutukseen, kuusenjuurikäpää, luonnosversio

Tutkimuskysymys 1:
Vaikuttavatko metsikön ominaisuudet, topografia, maaperä ja avointen alueiden läheisyys kirjanpainajatuhojen alttiuteen?

Tutkimuskysymys 2:
Saadaanko älykkään kaukokartoituksen avulla kehitettyä riittävän tehokas varhaisvaroituksen ja tuhojen hallinnan menetelmä kirjanpainajan joukkoesiintymän kontrollointiin?

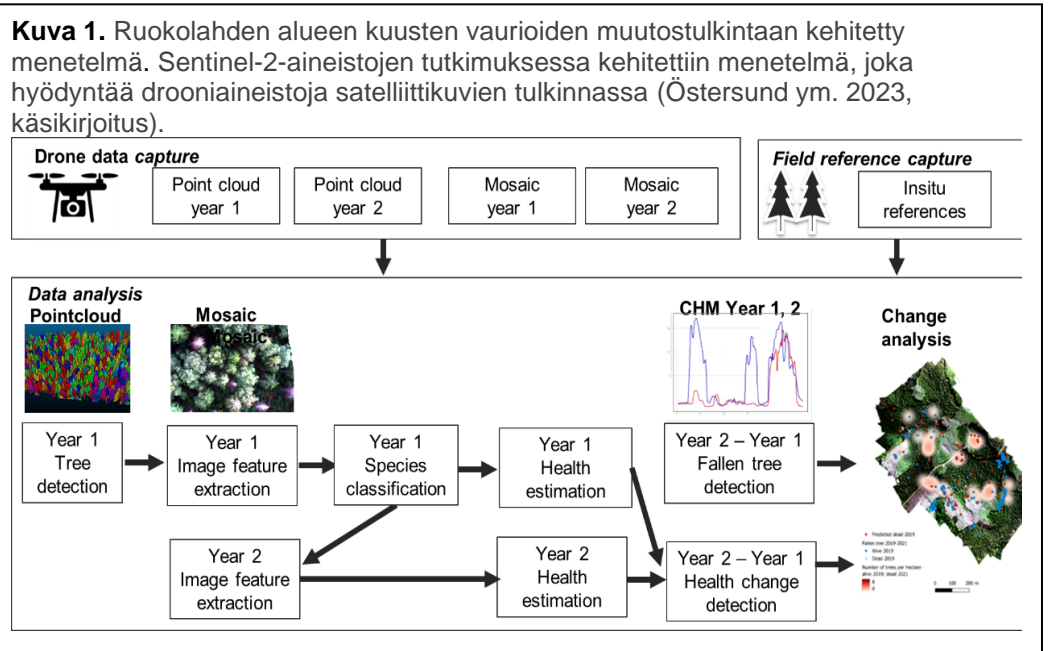
Hankkeen nimi:
Madonluvat kuusikoille?
–Varautuminen tulevaisuuden kuusituhoihin (SPRUCERISK)

Tekijä: Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa, Metsätieteiden osasto, Itä-Suomen yliopisto

SPRUCERISK-hankkeen toimintasuositukset

Hankkeen tiivistelmä

Bioottiset häiriötekijät vaikuttavat metsien hiilitaseeseen ja alentavat metsien toimintaa hiilinieluinä. Ilmastonmuutos edistää tuholaislajien levinneisyyttä ja joukkoesiintymien yleistymistä. Puita tappavat kaarnakuoriaiset ja sienitaudit vähentävät hiilensidonnan kapasiteettia ja vapauttavat hiilipohjaisia yhdisteitä ilmakehään. Suomen sisäistä varautumista tarvitaan ennen tilanteen muuttumista kriittiseksi. SPRUCERISK-hankkeen päätavoitteena oli kehittää Suomen oloihin soveltuva kirjanpainajan ja juurikäpäsien esiintymiseen, metsikkö- ja ympäristötekijöiden riskiluokitukseen ja kaukokartoitusaineistojen tulkintaan perustuva kuusikoiden tuhoriskien ennakoitijärjestelmä, jonka avulla metsätalouden harjoittaminen voidaan sopeuttaa muuttuviin olosuhteisiin. Hanketyö toteutettiin viiden työpaketin kautta, joilla on yhteinen tietokanta kaukokartoitus-, ympäristö- ja ilmasto- sekä metsikkö- ja lajikohtaiseen tietoon. Hanke tuotti kaukokartoituksen, riskinarvioinnin ja metsänhoidon menetelmiä hyödyntäen aikaa ja tilaan sidottuja aineistoja. Tuloksia käytetään kustannustehokkaasti käytännön metsätalouden sopeuttamisessa muuttuviin olosuhteisiin sekä metsänomistajien ja sidosryhmien koulutuksessa. Hankkeessa luotiin menetelmiä ja käytäntöjä, joilla parannetaan metsiemme ilmastokestävyttä metsien terveyden näkökulmasta (Kuva 1). Tulokset edistävät ilmastonmuutokseen sopeutumista kaukokartoituksen ja riskiennusteiden avulla, joilla voidaan nopeasti reagoida kuusikoiden tuhoriskien muutoksiin. Tuhojen hillintä vahvistaa kuusikoiden elinvoimaa ja hiilensidontakykyä. Hankkeessa tuotetut paikkatietoaineistot, riski- ja talousmallit, toimintatavat, ohjeet ja neuvontamateriaalit mahdollistavat metsäalan toimijoiden kustannustehokkaan toiminnan kuusikoiden terveyttä edistävien toimenpiteiden kohdentamiseksi.

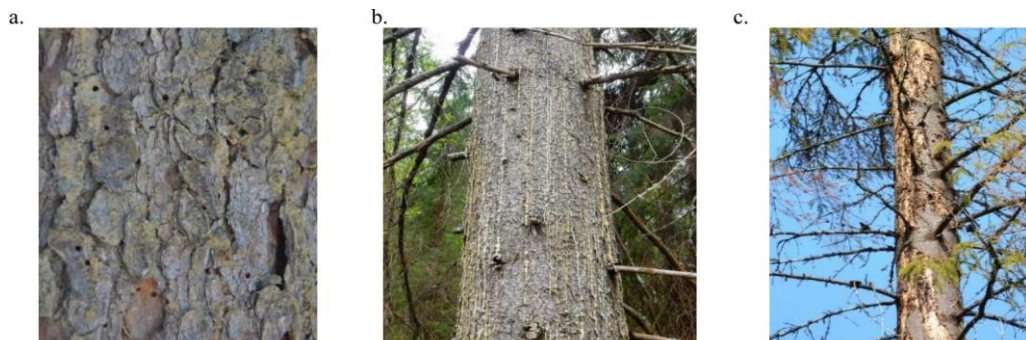


Johdanto

Suomessa tarvitaan pikaisesti sisäistä varautumista laajeneviin kirjanpainajatuhoihin ennen tilanteen muuttumista kriittiseksi.

Ilmastonmuutoksen vaikutus metsien terveyteen on toistaiseksi jäänyt vähemmälle huomiolle Suomessa. Kaarnakuoriaistuhot (Kuva 2) ovat jo Euroopassa saaneet massiiviset mittasuhteet ja samalla heikentäneet koko alueen puumarkkinoiden tasapainoa runsaan tuhoppuun ylijäämän ja sahatavaran vientiongelmien vuoksi. Häiriötekijöiden on osoitettu vaikuttavan metsien hiilibudjettiin ja pystyvän muuttamaan metsät hiilen nielusta hiilen lähteeksi, jolloin tuhoppuuhun sitoutunut hiili vapautuu ilmakehään puun lahoamisen kautta. Hanke tuottaa tietoa metsäekosysteemin hiilinielujen vahvistamisesta riskinhallinnan ja varhaisvaroituksen avulla. Hankkeessa kehitettävien toimenpiteiden avulla Suomen metsätalous voi varautua ajoissa biottisten tuhonaiheuttajien runsastumiseen kustannustehokkaan seurannan ja riskiennusteiden ja -mallien avulla. Metsien käytön taloudelliset mallit auttavat suuntaamaan metsänhoidollisia ratkaisuja ilmastokestävään suuntaan. Metsänomistajat ja yritykset saavat tietopohjan, jolla he voivat suunnitella metsätuhoja kestävä metsätaloutta.

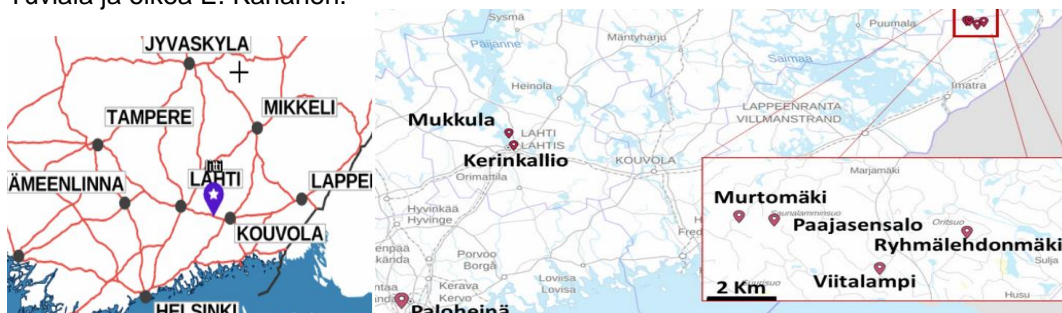
Kuva 2. Kirjanpainajan kolonisaation oireita kuusella: a) iskeymäaukkoja, b) runsas pihkavuoto, c) kolonisaation aiheuttama vakava kaarnavaurio ja harsuuntuneisuus. Kuvat: P. Lyytikäinen-Saarenmaa



Aineisto

Työssä hyödynnettiin viittä eri tutkimusaluetta ja niiden pysyviä ja uusia koaloja (Kuva 3). Alueilta kerättiin tietoa kaarnakuoriaisriskistä, populaatioiden runsastumisesta ja tämän aiheuttamista puuston vaurio-oireista, puun ekofysiologian, kaarnakuoriaisten populaatiorunsauden, droonien, drooni ilmalaivan ja Sentinel-2-satelliittikuvien avulla. Metsikkö- ja ympäristötietoa kerättiin myös avoimista tietoportaalista. Dynaaminen riskiluokitus kehitettiin kuusten runko- ja latvusoireille vaurioindeksien sekä logistisen regressiomallin avulla. Maastoaineiston ja MVM-aineiston perusteella laadittiin paikkatietomenetelmällä levinneisyys- ja riskimalleja usealla mittakaava- ja aikatasolla sekä metsänterveyden karttoja ja ennusteita kaukokartoituksen avulla. Karttojen ja mallien tuottamiseen käytettiin myös kaukokartoitusta ja koneoppimista, mikä mahdollistaa mallien laajennukset ja automaattisen tulkin. Riskimallien tulosten pohjalta laadittiin taloudelliset mallit, joissa huomioitiin hiilen sidonta ja metsikön kiertoaika. Hanke koosti metsänomistajille ja ammattilaisille suunnatun kirjanpainajaoppaan, maasto- ja verkkokursseja ja edisti toimijoiden yhteistyötä.

Kuva 3. Tutkimusalueet sijaitsivat litissä (vasemalla), Helsingin Paloheinässä ja Ruokolahdella (oikealla). Lisäksi tutkimuskohteita oli Orivedellä ja Kolilla. Vasen kuva J. Tuvala ja oikea E. Kananen.



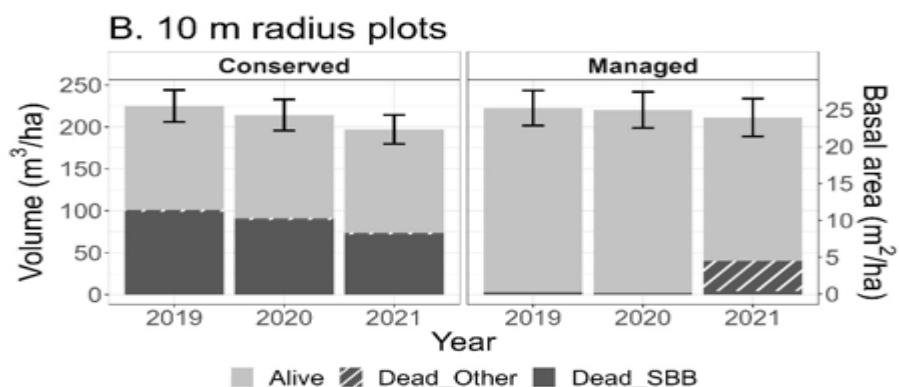
Tuhokarttojen ja -mallien tuottamiseen käytettiin myös koneoppimista, mikä mahdollistaa mallien laajennukset ja automaattisen tulkin.

Tulokset, niiden vaikuttavuus ja johtopäätökset

Metsiköiden vaurioindeksit ja tuhoalttiuden riskimallit palvelevat käytännön metsätaloutta tuottamalla seurantamenetelmän metsänomistajille.

Kaukokartoitusaineistojen luokittelun tutkimus ja tekoälyn sovellukset tuottivat aineistoja, analyysimenetelmiä ja puuston terveystarkkailuja (Kuva 1). Maastoaineistoja kirjanpainajatuhojen muutoksesta tutkimusalueilla voidaan hyödyntää jatkotutkimuksissa riski- ja talousmallinnuksen, ennusteiden ja kaukokartoitusmenetelmien kehittämisessä. Koneoppimisen avulla mm. kuolleiden puiden ja terveystarkkailujen valmistaminen voi palvella eri sidosryhmien tarpeita. Metsiköiden vaurioindeksit ja puuston dynaamiset mallit palvelevat käytännön metsätaloutta tuottamalla seurantamenetelmän jokaiselle metsänomistajalle (Kuva 4). Avoimien paikkatietoaineistojen käyttö ennusti kirjanpainajariskin 82 % oikeinluokituksella, jolloin tuhoa selittivät korkeus merenpinnasta, etäisyys avoimeen alueeseen, lehtipuiden latvuspeitto, kuusitukin tilavuus ja rinteen ilmansuunta. Mallia voidaan soveltaa Suomessa eri maantieteellisille alueille ja myös muokkaamalla selittäviä muuttujia tarpeen mukaan. Ymmärtämällä oireiden vakavuusasteen muutoksen ja eri metsikkötunnusten ja ympäristötekijöiden riskiä edistävät kombinaatiot metsänomistaja voi ennakolta varautua etenevään metsätuhoon ja suunnitella metsätaloudellisia toimenpiteitä. Metsikön arvon alenema voi olla nopeassa toimenpiteessä 590 €/ha, mutta hitaassa jopa 4540 €/ha kohtalaisen voimakkaan tuhoepisodin jälkeen, joten kiertoaika kannattaa sopeuttaa tilanteeseen.

Kuva 4. Kirjanpainajan (SBB) tappaman kuusipuun tilavuus ja pohjapinta-ala vuosina 2019-2021 suojelualueilla (vasen) ja talousmetsissä (oikea). Tilavuuden ja pohjapinta-alan aleneminen johtuu tuhopuiden kaatumisesta (Simon ym. 2023, käsikirjoitus).



Tulevaisuuden haasteet kirjanpainaja- ja juurikäpätuhojen kannalta

Kuinka saada yksityiset metsänomistajat mukaan koulutukseen ja ymmärtämään tuhojen ennaltaehkäisyn merkityksen.

- **Haaste 1:** Ilmaisten Sentinel-2 kuva-aineistojen maastoresoluutio on 10 m x 10 m tai 20 x 20 m, ja siksi kirjanpainajatuhojen ensimmäisten vaiheiden tunnistaminen niiltä voi on haastavaa. Pikseleihin voi sisältyä puulajiltaan ja/tai terveydentilaltaan erilaisia puuta.
- **Haaste 2:** Kaukokartoitusmenetelmien kehittäminen varhaisoireiden eli green attack vaiheen havaitsemiseen. Iskeymän ajankohdan todentaminen sekä kattavan aineiston kerääminen muutoksesta vaatii ajantasaista maastoseurantaa.
- **Haaste 3:** Kirjanpainajan joukkoesiintymä on aina kaaottinen ilmiö, mihin lukuisat tekijät vaikuttavat. Tarkka tilanteen ennustaminen vaatii paljon kehitystyötä.
- **Haaste 4:** Kuusen juurikäpää ei aiheuta niin selkeitä puusto-oireita kuin kaarnakuoriaistuho, mistä syystä seurantamenetelmän kehittäminen vaatii runsaasti työtä ja yhteistoimintaa.
- **Haaste 5:** Saada kaikki yksityiset metsänomistajat mukaan koulutukseen ja yhteistoimintaan sekä ymmärtämään tuhojen ennaltaehkäisyn merkityksen ja siihen liittyvät metsänhoidolliset ratkaisut.

Toimintasuositukset

Suomeen tulee kehittää pysyvä seurantajärjestelmä, joka mahdollistaa ennakoinnin ja kestävä reagoinnin kirjanpainajatuhojen etenemiseen. Järjestelmää on kehitettävä yhteistyössä kansainvälisten alan toimijoiden kanssa ja kytkettävä metsätalouden tietojärjestelmiin.

- Suomeen täytyy kehittää droni- ja satelliittikuviin ja koneoppimiseen perustuva monitorointijärjestelmä kirjanpainaja- ja juurikäpätuhojen seurantaan varten ja yhdistää se maastossa tehtävään havainnointiin.
- Puuston oireisiin ja metsän dynaamiseen kehitykseen perustuvaa mallinnusta eri metsänhoidollisissa vaihtoehdoissa on jatkettava sekä kaarnakuoriaistuhon etenemistä varten.
- Kaarnakuoriaistuhon riskimalleja voidaan kehittää eri mittakaavan ja alueellisen laajuuden tavoitteiden mukaisesti ja kytkeä mukaan avoimet tietoaaineistot. Suomen olosuhteisiin soveltuvien riskimallien ja -ennusteiden kehittämistä on jatkettava.
- Kuusimetsien tavoitekiertoaikaan ja kasvatustiheyteen perustuvia taloudellisia malleja tuhon vaikutuksesta hiilensidontahyötyyn täytyy jatkaa metsätalouden sopeuttamiseksi ilmastomuutokseen.
- Suomeen tulee kehittää pysyvä seurantajärjestelmä, joka mahdollistaa ennakoinnin ja kestävä reagoinnin kirjanpainajatuhojen etenemiseen. Järjestelmää on kehitettävä yhteistyössä kansainvälisten toimijoiden kanssa ja kytkettävä metsätalouden tietojärjestelmiin.
- Metsänomistajille tarjottavaa tuho-opinusta, tuhotiedotusta ja metsänhoidon ilmastokestäviä vaihtoehtoja on aktiivisesti tuotava lähelle yksityistä metsänomistajaa.

Tarkempi lukeminen

Hantula, J., Ahtikoski, A., Honkaniemi, J., Huitu, O., Härkönen, M., Kaitera, J., Koivula, M., Korhonen, K.T., Lindén, A., Lintunen, J., Luoranen, J., Matala, J., Melin, M., Nikula, A., Peltoniemi, M., Piri, T., Räsänen, T., Sorsa, J.-A., Strandström, M., Uusivuori, J. & Ylioja, T. 2023. Metsätuhon kokonaisvaltainen arviointi: METKOKA-hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 140 s.

Junttila S, Näsi R, Koivumäki N, Imangholiloo M, Saarinen N, Raisio J, Holopainen M, Hyyppä H, Hyyppä J, Lyytikäinen-Saarenmaa P, Vastaranta M, Honkavaara E. 2022. Multispectral Imagery Provides Benefits for Mapping Spruce Tree Decline Due to Bark Beetle Infestation When Acquired Late in the Season. *Remote Sensing* 14(4), 909. <https://doi.org/10.3390/rs14040909>

Kanerva, H.; Honkavaara, E.; Näsi, R.; Hakala, T.; Junttila, S.; Karila, K.; Koivumäki, N.; Alves Oliveira, R.; Pelto-Arvo, M.; Pölönen, I.; Tuviala, J.; Östersund, M.; Lyytikäinen-Saarenmaa, P. 2022. Estimating Tree Health Decline Caused by Ips typographus L. from UAS RGB Images Using a Deep One-Stage Object Detection Neural Network. *Remote Sensing* 14, 6257. <https://doi.org/10.3390/rs14246257>

Suomen metsäkeskus 2022. Kirjanpainaja kuusikossa: ennakointi, hallinta ja torjunta. 24 s. <https://mappi.metsakeskus.fi/catalog/Mappi/r/932/viewmode=infoview>

Turkulainen, E., Honkavaara, E., Näsi, R., Alves Oliveira, R., Hakala, T., Junttila S., Karila, K., Koivumäki N., Pelto-Arvo, M., Tuviala, J., Östersund, M., Pölönen, I. & Lyytikäinen-Saarenmaa, P. 2023. Comparison of Deep Neural Networks in the Classification of Bark Beetle-Induced Spruce Damage Using UAS Images. *Remote Sensing*, 15(20), 4928. <https://doi.org/10.3390/rs15204928>

Tapio Oy 2023. Metsänhoidon suositukset. <https://metsanhoidonsuositukset.fi/fi>

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, 4178–4196. <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>

Kirjanpainajan koulutusmateriaali, luonnos

Sprucerisk-hanke



Metsäkeskus



TAPIO 



Koulutuspaketin tarkoitus

- Metsänhoidon suositusten mukaisen metsänhoidon lisääminen ja ylläpito
 - Metsätuhojen vähentäminen ja ennaltaehkäisy
 - [Metsänhoidon suositukset - kirjanpainajatuhojen torjunta](#) (Tapio)
 - Ilmastokestävän metsänhoidon kouluttaminen
 - [Metsänhoidon suositukset - ilmastokestävä metsänhoito](#) (Tapio)
- Ajantasainen tieto metsäammattilaisille ja kouluttajille
 - Metsäalan opiskelijoiden koulutus
 - Metsäalan ammattilaisten täydennyskoulutus
- Sprucerisk-projektin tutkimustulosten esittely ja vienti koulutustarkoituksessa
 - Kirjanpainajaoppaan ja verkkokurssin esittely
 - [Kirjanpainaja kuusikossa: ennakointi, hallinta ja torjunta](#) (Metsäkeskus)
 - [Kirjanpainaja kuusikossa - verkkokurssi](#) (Metsäkeskus)
- Kansallisen metsätuhotietoisuuden laajentaminen
 - Kirjanpainaja- ja kuusenjuurikäävän tuhojen tunnistaminen ja tuhoriskien arviointi

Koulutuspaketin sisältö

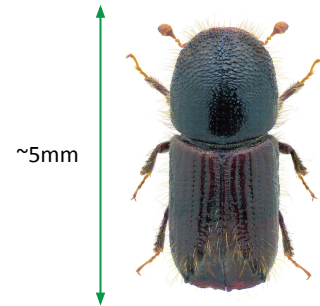
- Kirjanpainaja - Lajin esittely
 - Kirjanpainaja (*Ips typographus*)
 - Kirjanpainajasukupolven kehitys
 - Kirjanpainajan sukupolvet
- Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- Abioottiset tuhot muuttuvassa ilmastossa – ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
- Kirjanpainaja tuhonaiheuttajana
 - Ennaltaehkäisy ja varautuminen
 - Lisääntyneen riskin alueet
 - Tuhojen hoito
 - Seuranta
- Kirjanpainajatuhon tunnistaminen
 - Kaatuneet ja katkenneet rungot
 - Pystypuut
 - Ilma- ja satelliittikuvat
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Koulutuspaketin sisältö

- **Kirjanpainaja - Lajin esittely**
 - **Kirjanpainaja (*Ips typographus*)**
 - **Kirjanpainajasukupolven kehitys**
 - **Kirjanpainajan sukupolvet**
- **Metsätuhot**
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- **Abioottiset tuhot muuttuvassa ilmastossa – ennaltaehkäisy ja vaikutukset**
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
- **Kirjanpainaja tuhonaiheuttajana**
 - Ennaltaehkäisy ja varautuminen
 - Lisääntyneen riskin alueet
 - Tuhojen hoito
 - Seuranta
- **Kirjanpainajatuhon tunnistaminen**
 - Kaatuneet ja katkenneet rungot
 - Pystypuut
 - Ilma- ja satelliittikuvat
- **Lisätietoa**
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Kirjanpainaja (*Ips typographus*)

- Noin puolen senttimetrin pituinen kaarnakuoriainen
- Värykseltään ruskea, nuorena vaalea, tummenee aikuistuessaan
 - Toukat ja kotelot valkeita
- Merkittävin kuusen hyönteistuholainen Suomessa, laajoja tuhoja myös muualla Euroopassa
- Syömäkäytävät katkaisevat kuusen nestevirtauksen ja hyönteisen mukana kuljettamat sinistäjäsienet pilaavat puun laatua
- Iskeytyy tavallisesti varttuneisiin (rinnankorkeus >20cm) kuusiin, joukkotuhovaiheessa myös nuorempaan kehitysluokkaan
- Käyttää ravinnokseen tuoreiden kuusten nilaa
 - Kuivuneet pysty- tai maapuut eivät ole enää kirjanpainajalle soveltuvia
 - Näitä hyödyntävät kirjanpainajan luonnolliset viholliset ja lahoppuuta vaativat eliölajit
 - Lisäksi kuollutta ja kuivunutta puustoa voi hyödyntää monimuotoisuuden säilyttämisessä esimerkiksi säästöpuuryhmissä



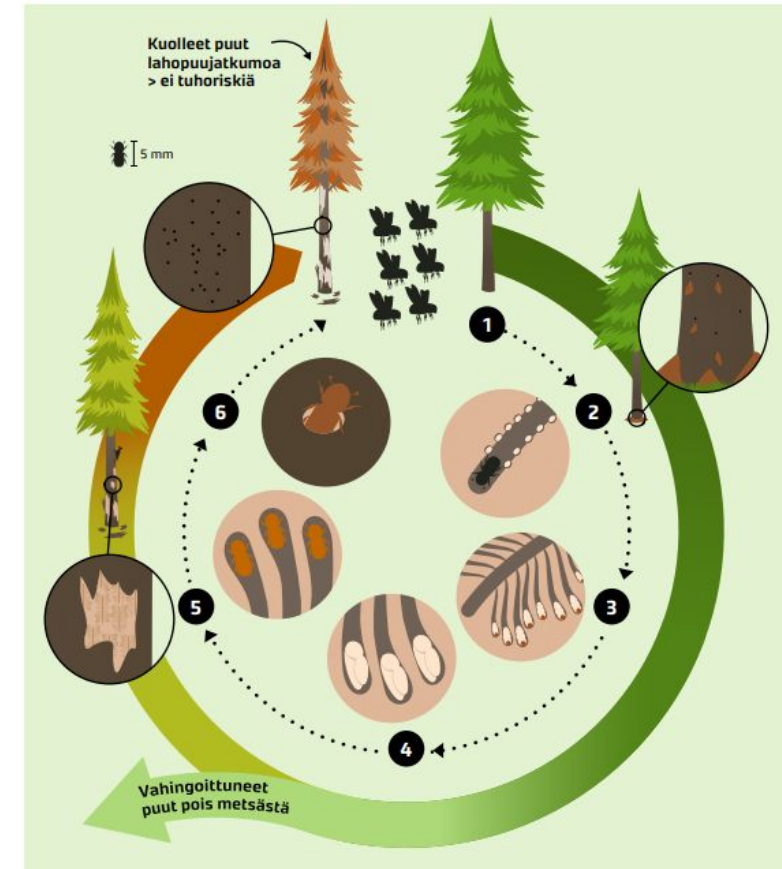
Kuva: Udo Schmidt,
CC BY-SA 2.0 Deed



Kuva: © Varpu Kuutti

Kirjanpainajasukupolven kehitys

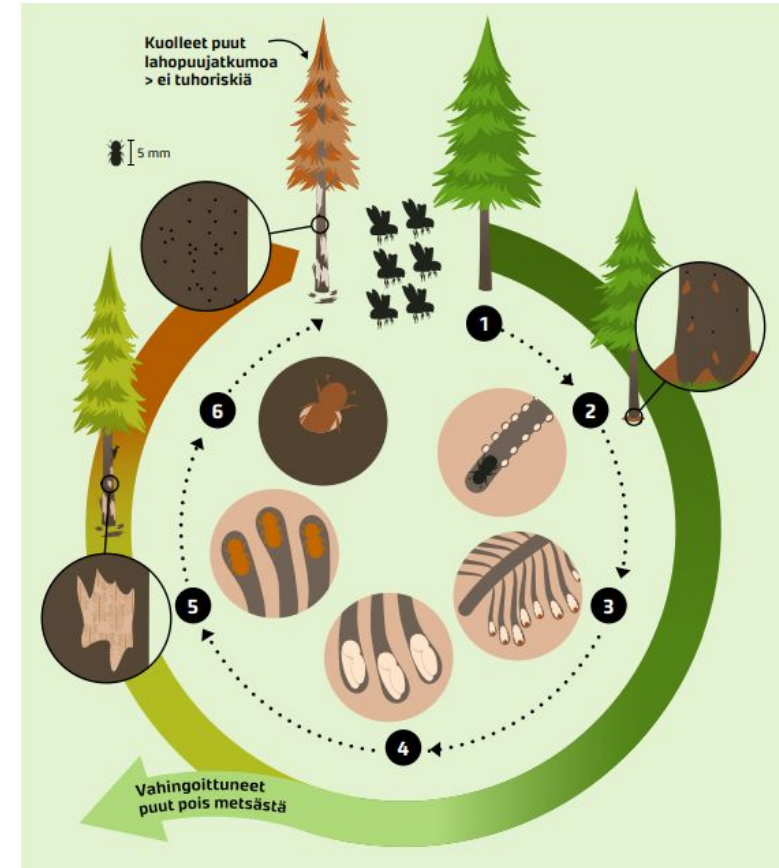
1. Ensimmäinen parveilu (huhti-)touko-kesäkuussa maan lämpötilan ylittäessä +12 °C, ilman lämpötila n. +18 °C
 - Koiraat iskeytyvät kuusen kaarnan alle ja kutsuvat feromonein naaraat pariutumiskammioon
 - Säätilat vaikuttavat parveilujaksoihin sekä jälkeläissukupolvien määrään ja kehitykseen
 - Parveilu yleensä vähätuulisina ja aurinkoisina päivinä
2. Paritelleet naaraat (2-4 kpl/koiras) kaivertavat emokäytävät puun pituussunnassa ja laskevat munansa (40-60 kpl) emokäytävän reunoille
 - Yksittäisen terveen kuusen tappamiseen tarvitaan 2000-4000 kirjanpainajaa
 - Munineet aikuiset yksilöt saattavat parveilla keskikesällä ja munia uudelleen, perustaen sisarsukupolven
3. Kuoriutuneet toukat kaivertavat kukin omat käytävänsä toisistaan erilleen
 - Jos puussa on runsaasti emokäytäviä, saattaa osa toukista kuolla kilpailussa muiden toukkien kanssa



Kuva: [Luonnonvarakeskus](#) ja [Metsäkeskus](#)

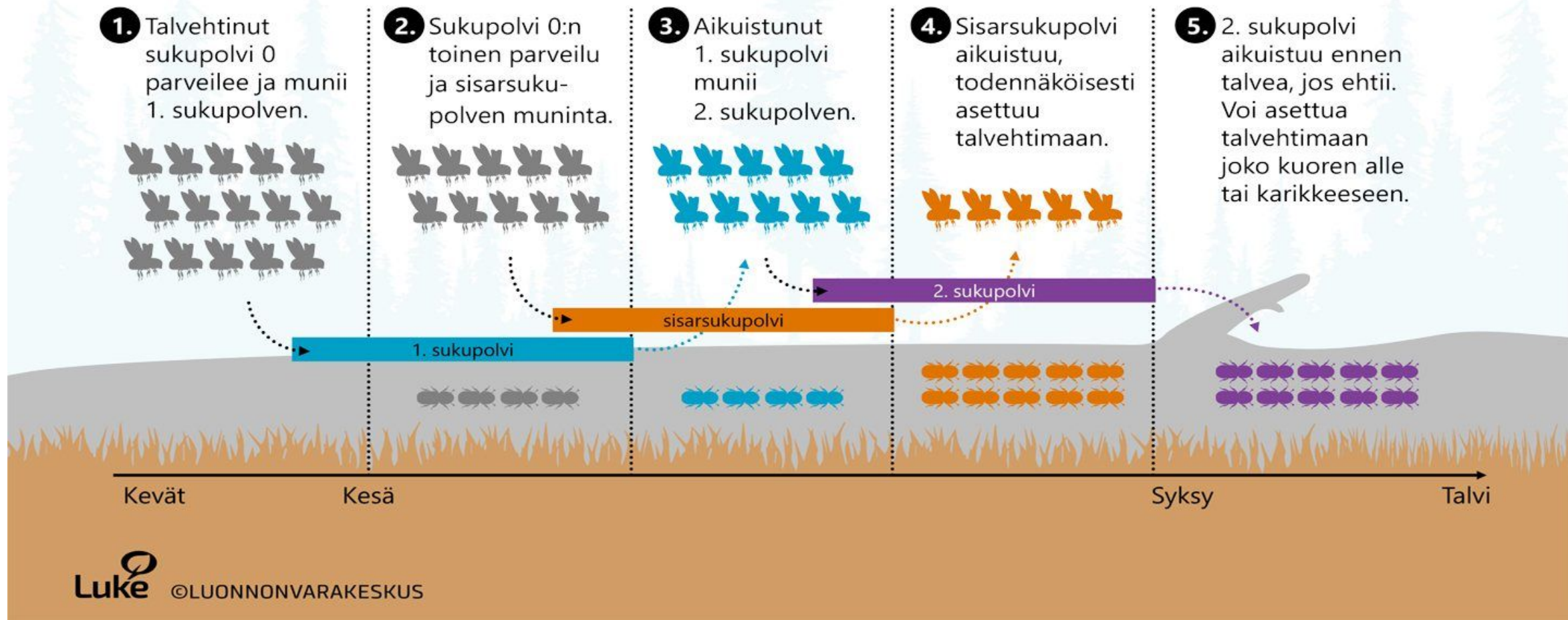
Kirjanpainajasukupolven kehitys

4. Toukat koteloituvat..
 - Kehitys nopeinta +25-30 asteessa, jolloin kehitys voi kestää vain 3-4 viikkoa, tätä lämpimämpi voi haitata kehitystä
 - Syksyllä nuorten yksilöiden kehitys jatkuu kuorenlaisen lämpötilan pysyessä yli +5 asteisena (sisar- tai 2. sukupolvi)
5. ..ja kehittyvät aikuisiksi yksilöiksi
6. Uusi (1.) sukupolvi parveilee kun lämpösumma ylittää 700 °C, kesäkuun lopulla tai heinäkuussa
 - Aikuiset kirjanpainajat talvehtivat karikekerroksessa tai kuusirunkojen kuoren alla
 - Lumettomien ja useiden viikkojen kovien pakkasjaksojen aikana osa talvehtivista yksilöistä voi menehtyä
 - Kuoren alla talvehtivat selviävät yleensä vain lumen alla olevissa tyviosissa
 - Kuolevat pakkaseen tai joutuvat tikkojen syömiksi



Kuva: [Luonnonvarakeskus ja Metsäkeskus](#)

Kirjanpainajan sukupolvet

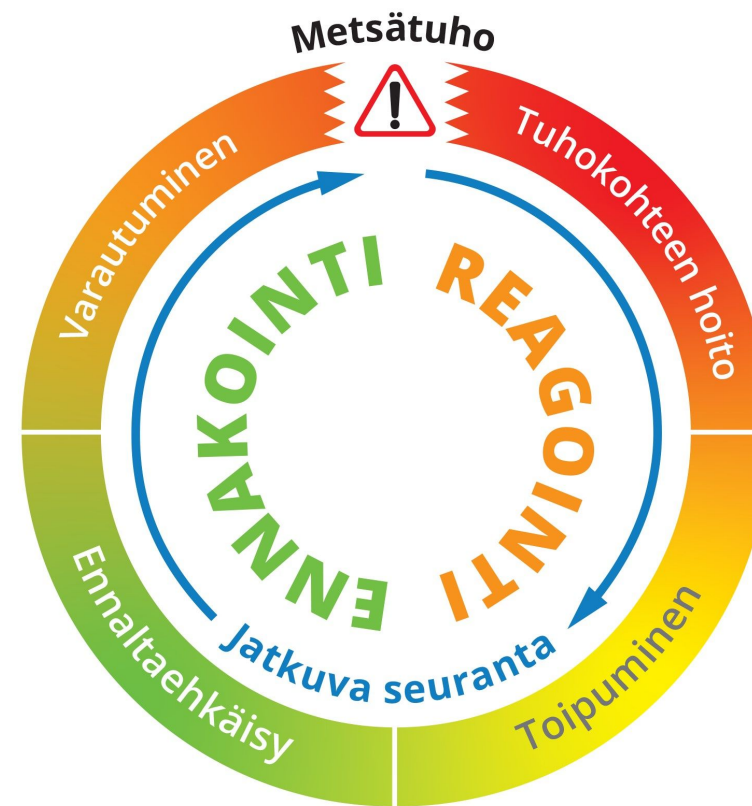


Koulutuspaketin sisältö

- Kirjanpainaja - Lajin esittely
 - Kirjanpainaja (*Ips typographus*)
 - Kirjanpainajasukupolven kehitys
 - Kirjanpainajan sukupolvet
- **Metsätuhot**
 - **Metsätuhoriskien hallinnan vaiheet**
 - **Metsätuholaki**
 - **Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet**
- Abioottiset tuhot muuttuvassa ilmastossa – ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
- Kirjanpainaja tuhonaiheuttajana
 - Ennaltaehkäisy ja varautuminen
 - Lisääntyneen riskin alueet
 - Tuhojen hoito
 - Seuranta
- Kirjanpainajatuhon tunnistaminen
 - Kaatuneet ja katkenneet rungot
 - Pystypuut
 - Ilma- ja satelliittikuvat
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Metsätuhoriskien hallinnan vaiheet

- Ennaltaehkäisy
 - Sekapuustoisuus
 - Oikea-aikaiset ja sopivat maanmuokkaus- ja metsänhoitotoimenpiteet
 - Ilmeisen tuhoriskin alueella uudistushakkuut
 - Tuhoille altistavien käsittelyjen välttäminen
 - Juurikäävän torjunta metsätuholain mukaisesti
- Varautuminen
 - Riskikohteiden säännöllinen tarkastelu
 - Juurikäävän tunnistaminen hakkuissa
- Tuhokohteen hoito
 - Tuhojen arviointi ja toimenpiteiden suunnittelu
 - Metsätuholain ylittävän tuhopuuston korjuu
 - Hakkuuilmoitus tuhokohteen hakkuuna
 - Havupuutavaran kesäaikaisten korjuu- ja varastointirajoitusten huomiointi

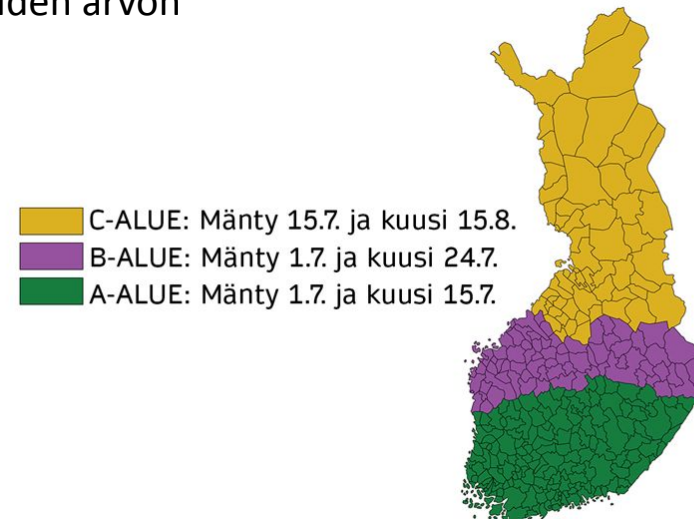


Kuva: Mukailten lähteestä European Forest Risk Facility 2020.

Metsätuholaki

- [Laki metsätuhojen torjunnasta \(1087/2013\)](#) (Finlex)
- Lain tarkoituksena on
 - Ylläpitää metsien terveydentilaa
 - Torjua metsätuhoja
- Tuhohyönteisille kelpaavaa, tuoretta havupuutavaraa koskevat rajoitteet metsässä ja sen läheisyydessä
- Hakattu puutavara
 - 1.9.-31.5. kaadettu havupuutavara on kuljetettava pois hakkuupaikalta tai välivarastosta heinä-elokuussa
 - Poistamisvelvoite alueittain eteläisessä (A), keskisessä (B) ja pohjoisessa (C) Suomessa
 - Lisäksi 1.6.-31.8. A-alueella kaadettu **kuusi**puutavara on kuljetettava pois 30 päivän sisällä hakkuusta
 - Poistovelvoite koskee käyttötarkoituksesta riippumatta puutavaraa, jonka tyviläpimitta on >10 cm

- Vahingoittuneet havupuut
 - Laki velvoittaa metsänomistajaa korjaamaan metsästä tuoreet vahingoittuneet havupuut siltä osin, kun niiden määrä ylittää
 - Kuusella 10 m³
 - Männyllä 20 m³ hehtaarilla
 - Vähäisempiä määriä kaatuneita tuoreita havupuita ei tarvitse korjata, sillä yksittäisten puiden aiheuttama tuhoriski on pieni ja korjuukustannukset voivat ylittää niiden arvon



Kuva: [Metsäkeskus](#)

Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet

- Metsätuholain mukaisesti tuoreen ja kaarnakuoriaisille lisääntymiskelpoisen, yli 10 m³/ha kuusipuutavaran poistaminen on lähtökohtaisesti sallittua metsälain 10 § kohteilta tai kestävän metsätalouden rahoituslain (KEMERA) mukaisilta määräaikaisilta ympäristötukialueilta
- Hakkuutoimenpiteistä tehtävä metsänkäyttöilmoitus Metsäkeskukselle (hyönteistuhotapauksissa hakkuun tarkoitukseksi merkitään koodi 6: metsätuhoalue)
 - Metsätuhosta tulee tehdä merkintä metsänkäyttöilmoitukseen, jos tuho on johtanut hakkuun suunniteluun
 - Tärkeä tieto myös metsien terveyttä ja tuhotilannetta seuraaville tahoille
 - Hakkuussa poistetaan 10 m³/ha ylittävä osa
- Hakkuun jälkeen Metsäkeskus arvioi kohdekohtaisesti ja ympäristötukisopimuksen mukaisesti elinympäristön tilan, ympäristötukisopimuksen jatkumisen sekä mahdollisen takaisinperittävän osuuden
- Ympäristötukisopimuksia mahdollista purkaa kesken sopimuskauden kirjanpainajariskin ollessa suurta
- **Poikkeuksena** metsälain 10§ tarkoitetuilla kohteilla ja Natura 2000 –verkoston alueilla on mahdollista jättää suurempi määrä tuoretta vahingoittunutta puuta, mikäli alueen lahoppuuston määrää on tarkoitus kasvattaa
 - Tällöin maanomistajan tulee ilmoittaa puiden poistamatta jättämisestä Metsäkeskukselle

Koulutuspaketin sisältö

- Kirjanpainaja - Lajin esittely
 - Kirjanpainaja (*Ips typographus*)
 - Kirjanpainajasukupolven kehitys
 - Kirjanpainajan sukupolvet
- Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- **Abioottiset tuhot muuttuvassa ilmastossa – ennaltaehkäisy ja vaikutukset**
 - **Lämpötilan kasvu**
 - **Kuivuustuhot**
 - **Tuuli- ja lumituhot**
- Kirjanpainaja tuhonaiheuttajana
 - Ennaltaehkäisy ja varautuminen
 - Lisääntyneen riskin alueet
 - Tuhojen hoito
 - Seuranta
- Kirjanpainajatuhon tunnistaminen
 - Kaatuneet ja katkenneet rungot
 - Pystypuut
 - Ilma- ja satelliittikuvat
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Lämpötilan kasvu

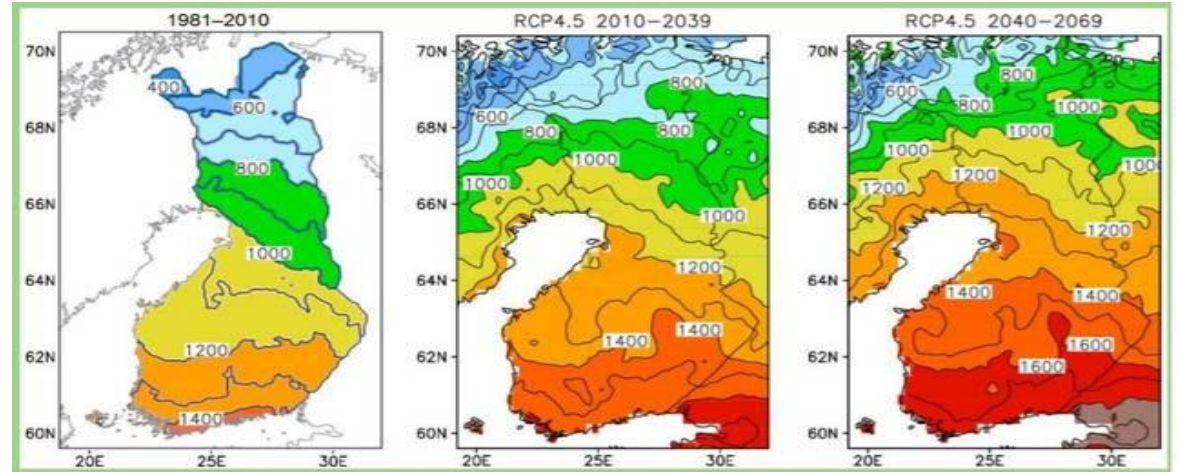
Vaikutukset

- Lämpötilan nousu on suhteellisesti voimakkaampaa pohjoisilla alueilla
- Kuivuus
 - Hellepäivien määrä lisääntyy ja kuivuusjaksot yleistyvät sekä keväällä että kesällä
- Tuulituhot
 - Tuulisuudessa ja myrskyjen esiintymisessä ei arvioida tapahtuvan suuria muutoksia
 - Voimakkaiden myrskyjen osuus saattaa kasvaa
 - Kylmiä talvia esiintyy aikaisempaa harvemmin
 - Routajaksot lyhenevät
 - Etelä-Suomessa maa voi yhä useammin jäädä talvella roudattomaksi

- Kirjanpainaja

14

- Uusi sukupolvi kehittyy nopeammin munasta aikuiseksi



Tehoisan lämpösumman muutoksen ennusteet vuoteen 2069 asti.

Kuvissa esitetty skenaario RCP4.5 kuvaa kohtuullista ilmastomuutosta. Kuva: Ilmatieteen laitos.

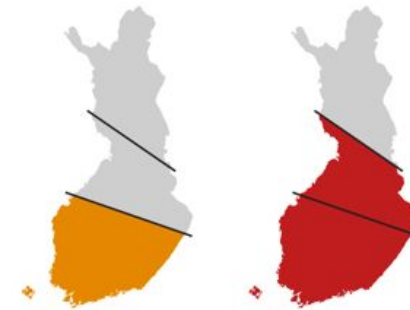
Suuntaa antavat vaikutukset (Riski)

Lähtulevaisuudessa (2020–2040)

Myöhemmin (2040–2070)

pääosin RCP4.5 ja 8.5 skenaarioiden perusteella

Kirjanpainajatuhoriski kuusella Viite A



Riski

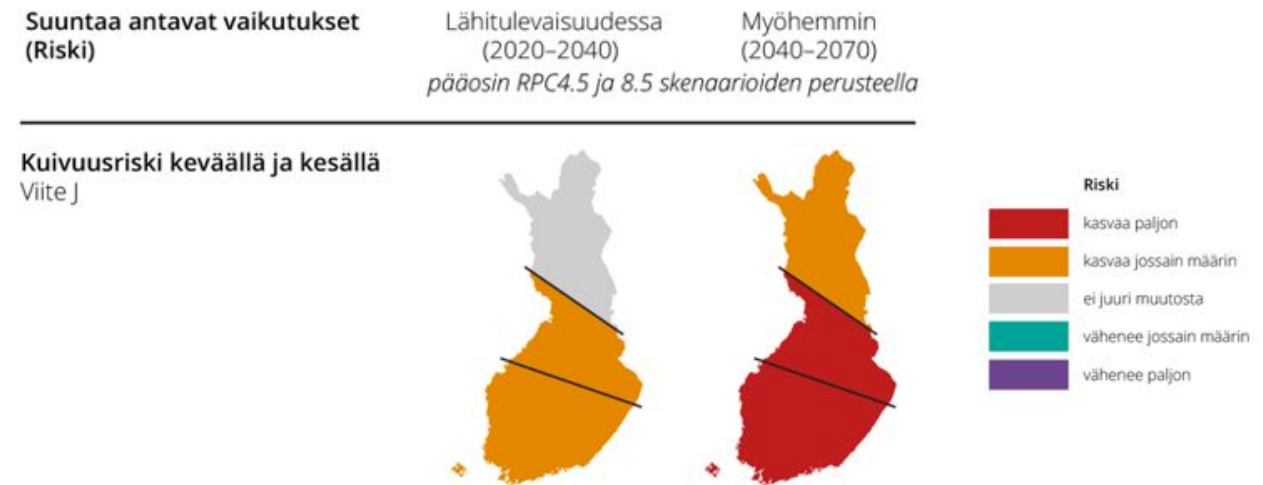
- kasvaa paljon
- kasvaa jossain määrin
- ei juuri muutosta
- vähenee jossain määrin
- vähenee paljon

Kuva: Venäläinen ym. (2020) <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>

Kuivuustuhot

Vaikutukset

- Puuston stressitason nousu
 - Alttiimpi tuhohyönteisille ja kuusenjuurikäävälle
 - Kuivuus on jo lisännyt voimakkaasti kirjanpainajatuhoja Etelä-Ruotsissa ja Keski-Euroopassa
- Kasvutappiot
 - Versojen tai latvaosien kuivuminen
- Taimien juuristovauriot ja kuivuuskuolemat
 - Maaperän toistuva sulaminen ja jäätyminen aiheuttaa juuristovaurioita
 - Taimet pystyvät ottamaan vettä vain maan pintakerroksista



Kuva: Venäläinen ym. (2020) <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>

Kuivuustuhot

Ennaltaehkäisy

- Kiertoaika ja hakkuut
 - Huomio myös tuleviin kasvuolosuhteisiin
 - Vallitsevien ennusteiden mukaan nyt istutetut kuuset kohtaavat aiempaa **voimakkaampia** ja **toistuvampia** kuivuusjaksoja ennen uudistuskypsyyttä
 - Voimakasta kasvatusharvennusta tulee välttää kuivuuden aikana
- Kasvupaikka ja puulajivalinta
 - Suositetaan kasvupaikkakohtaisesti parhaiten menestyviä puulajeja
 - Etelä-Suomessa viljellään kuusta harkiten vain sille sopiville kasvupaikoille
 - Taimikkoa perustaessa merkitystä myös siementen alkuperällä ja jalostuksella
 - Otetaan huomioon ilmaston ennakoitujen lämpenemisen aiheuttamat muutokset kasvupaikan kosteudessa
 - Kuusta uudistaessa suositetaan kuusi-lehtipuu tai kuusi-mäntyseosta
 - Sekapuusto kestää paremmin kuivuutta ja bioottisia tuhoja
 - Etenkin kuivuudesta kärsiville kohteille, kuten kumpareille, mäkimaille ja karkeajakoisille maapohjille, suositellaan uudistushakkuun jälkeen kuivuutta paremmin kestävien puulajien ja sekapuuston suosimista

Tuuli- ja lumituhot

Vaikutukset

- Puuston latvuksiin kertynyt märkä ja painava lumikuorma nostaa tuhoriskiä
- Tuhoriskien oletetaan kasvavan eniten Suomen etelä- ja keskiosissa.
 - Erityisesti riski nousee turvemaidella roudan vähentyessä
- Taloudellisia tappioita
 - Puutavaran arvo alenee, koska tukkipuuta siirtyy kuitupuuksi ja jopa energiapuuksi
 - Kasvutappioita ennenaikaisten hakkuiden tai tuulituhon aiheuttaman liian alhaisen kasvatustiheyden vuoksi
- Laaja-alaisen myrskyn jälkeen osa tuhopuustosta saattaa jäädä korjaamatta tai korjuu viivästyy
 - Seuraustuhot, kuten kirjanpainajan, ytimennävertäjien tai juurikäävän tuhot voivat lisääntyä
- Toisaalta metsään jätetyt tuulenkaadot tärkeää lahoppuuta ja hiilivarastoja
 - Lehtipuutuulenkaatoja voi jättää lisäämään metsän monimuotoisuutta
 - Havupuiden tuulenkaatoja jätetään vain metsätuholain sallimissa rajoissa

Tuuli- ja lumituhot

Ennaltaehkäisy

- Metsänuudistaminen
 - Puulajivalinta
 - Mänty kestää tuulituhoja koivua ja kuusta paremmin
 - Sekametsä kestää tuuli- ja muita tuhoriskejä puhdasta kuusikkoa paremmin
 - Maaston muodot
 - Maaperä
 - Vallitseva tuulensuunta
 - Suuren lumituhoriskin alueilla Itä- ja Pohjois-Suomessa voidaan suosia kuusta, jatkuvaa kasvatusta, lehtipuun tuomaa sekapuustoisuutta
 - Alue uudistetaan viljellen, jos myrsky on tuhonnut myös siemenpuut
- Uudistushakkuualueiden rajaukset tuulituhoriski ja vallitseva tuulensuunta huomioiden



Kuva: © Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa

Tuuli- ja lumituhot

Ennaltaehkäisy

- Metsänhoitotoimenpiteet
 - Oikea-aikainen ja suositusten mukainen taimikonhoito ja harvennushakkuut
 - Estää puuston riukuuntumista
 - Puuston ei anneta muodostua ylitiheäksi
 - Vahvistaa puiden juuristoa ja runkoa kestämään tuuli- ja lumikuormaa
 - Tuulituhoriski kasvaa puuston pituuden lisääntyessä
 - Rungon kapeus altistaa tuhoille jo vähäisemmällä tuulennopeudella
 - Juurikäypää torjunta suositusten mukaisesti
 - Heikentynyt puusto on altista tuulituhoille
 - Joissain tapauksissa kiertoajan lyhentäminen voi olla perusteltua
- Lumituhoihin voidaan varautua tarkastelemalla ennustemalleja korkean riskin kohteista
 - [Lumi- ja tuulituhojen riskikartat](#) (Luke)

Tuuli- ja lumituhot

Ennaltaehkäisy

- Metsänhoitotoimenpiteiden vaaranpaikat
 - Kasvatusemetsissä tuulituhoriski on suurinta heti harvennuksen ja mahdollisen lannoituksen jälkeen
 - Tuulituhon alttiilla alueilla lannoitus tehdään vasta 2–3 vuotta harvennuksen jälkeen
 - Puiden juuristo ja runko vahvistuvat riittävästi kestämään lisääntyvän tuulikuorman
 - Tuulelle altista metsikön reunaa harvennetaan lievemmin tuulen puoleisella, noin 10–20 m leveällä kaistaleella
 - Tiheämpi kaistale suojaa voimakkaimmilla tuulenpuuskilta
 - Koskee myös jatkuvan kasvatuksen hakkuita
 - Ylitiheät puustot erityisen alttiita tuulituhon heti harvennushakkuun jälkeen
 - Koskee myös jatkuvan kasvatuksen poimintahakkuita
 - Vältetään
 - Puuston suuria pituuseroja vierekkäisillä metsikkökuvioilla
 - Liian voimakkaita harvennuksia

Koulutuspaketin sisältö

- Kirjanpainaja - Lajin esittely
 - Kirjanpainaja (*Ips typographus*)
 - Kirjanpainajasukupolven kehitys
 - Kirjanpainajan sukupolvet
- Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- Abioottiset tuhot muuttuvassa ilmastossa – ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot

- **Kirjanpainaja tuhonaiheuttajana**
 - **Ennaltaehkäisy ja varautuminen**
 - **Lisääntyneen riskin alueet**
 - **Tuhojen hoito**
 - **Seuranta**
- Kirjanpainajatuhon tunnistaminen
 - Kaatuneet ja katkenneet rungot
 - Pystypuut
 - Ilma- ja satelliittikuvat
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Kirjanpainaaja

Ennaltaehkäisy ja varautuminen

- Metsätuholain noudattaminen
 - Kuorellisen kuusipuutavaran poistaminen viimeistään metsätuholain päivämääriin mennessä
 - Lämpiminä kesinä poisto hyvissä ajoin ennen lakirajoja
- Ajallaan ja suunnitelmallisesti tehdyt metsänhoidon toimenpiteet
 - Heikentyneiden kuusten poisto harvennus- tai poimintahakkuilla
 - Sekapuuston suosiminen
 - Lehtipuut vähentävät maaperän happamuutta parantaen puiden elinvoimaisuutta
 - Kuusen istutus vain sille sopiville paikoille
 - Huomioidaan uudistamisessa tulevaisuuden ilmasto
 - Kasvupaikkojen kuivuminen ja sen tuomat tuhoriskit
 - Kotimaisten taimien suosiminen
- Metsien ja metsätuhojen säännöllinen seuranta
 - Riskipaikkojen ja metsätuhoriskien tiedostaminen
 - Riskikarttojen hyödyntäminen
 - [Tuhohyönteisten ennustekartat](#) (Luke)
 - [Lumi- ja tuulituhojen riskikartat](#) (Luke)
 - [Kirjanpainaajan iskeymälle alttiit alueet](#) (Metsäkeskus)
 - [Tehoisan lämpösumman seurantakartta](#) (Metsäkeskus)
 - Uudistuskypsien kuusikoiden kasvukunnon seuranta
 - Puusto heikkenee ikääntyessään ja sen vastustuskyky hyönteistuhoilta alenee

Kirjanpainaja

Lisääntyneen riskin alueet

- Varttuneet kuusikot kuivahkolla ja kuivumisherkällä kasvupaikalla
 - Kirjanpainaja suosii yli 20cm läpimittaisia (heikentyneitä) kuusia
 - Pienempiin kuusiin iskeytyy pienemmät kaarnakuoriaiset, kuten kuusentähkikirjaaja (*Pityogenes chalcographus*)
- Alueet joilla tuoretta lisääntymismateriaalia
 - Tuulenskaadot, myrskytuhot
 - Kelpaavat kirjanpainajalle jopa kaksi vuotta tuhon jälkeen
- Tuoreen kuusipuutavaran varastointipaikat
 - Tienvarsipinot; energiapuukasat, joissa järeää puuta
- Alueet, joissa aiempia hyönteis- ja juurikäpätuhoja
- Hakkuuaukkojen paahteiset reunat
 - Myös peltojen, teiden, ojien reunat
- Rinnemetsät
 - Etenkin etelä- ja kaakkoisrinteet aurinko-olosuhteiden vuoksi
- Äskettäin harvennetut kuusikot



Kuva: ©Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa

Kirjanpainaja

Tuhojen hoito

- Ensisijainen toimenpide kirjanpainajalle sopivan puutavaran poistaminen metsistä ja välivarastoista
 - Sallittuina vaihtoehtoina myös mm.
 - Puutavaran peittäminen, kastelu tai kuorinta
 - Käsittely hyönteisten iskeytymistä vastaan tarkoitetulla kasvinsuojeluaineella
 - Havupuutavarapinojen peittäminen lehtipuukerroksella
- Torjuntahakkuut elävän pystyvuuston suojaamiseksi
 - Alkava tuho on mahdollista pysäyttää yksittäisiä puita poistamalla
 - Useat ja/tai laajemmat tuhopesäkkeet indikoivat kuusikon yleistä heikkenemistä
 - Laajemman tuhon hakkuissa poistetaan kuusia myös heikentyneiden puiden ympäriltä
 - Torjuntahakkuiden päätökseen vaikuttavat
 - Vuuston ikä ja järeys
 - Metsikön kasvukunto
 - Kasvupaikka
 - Metsänomistajan tavoitteet



Torjuntahakkuissa kuivunut pystyvuosto voidaan jättää alueelle monimuotoisuuden ylläpitämiseksi.
Kuva © Varpu Kuutti.

Kirjanpainaja

Seuranta

- Kirjanpainajan houkutinferomoneja hyödynnetään kirjanpainajapyydyksissä
 - Käytetään seurantaan, **ei torjuntakeinona**
- Luonnonvarakeskus (Luke) hoitaa yhdessä Metsäkeskuksen kanssa valtakunnallista kirjanpainajan feromonipyydykseurainta
 - Seurantapaisteitä on Suomessa yli 40 kpl
 - Seurantapaikat valitaan vuosittain tuoreiden hakkuiden perusteella
 - Puoli vuotta vanhat uudistusalat, joiden läheisyydessä varttunutta kuusimetsää
 - Pyydykset vähintään 20-30 metrin päähän reunametsästä kirjanpainajan houkutus- ja ohjausvaikutuksen välttämiseksi
 - Seurannan avulla tarkkaillaan kirjanpainajan paikkakuntakohtaisia määriä
 - Alueelliset arviot kirjanpainajakannan koosta eteläisessä Suomessa
 - Linkki seurantaan: [Luonnonvaratieto](#) (Luke)
- Valtakunnallisessa kirjanpainajaseurannassa käytetään norjalaista putkipyydyksimallia
 - Pyydykset perustuu salaojaputken sisälle roikkumaan asetettuun feromonihoukuttimeen
 - Salaojaputki on porattu täyteen pieniä reikiä, joista kirjanpainajat mahtuvat putken sisään
 - Sisään kiivettyään kirjanpainajat putoavat putken alaosaan kiinnitettyyn keräysastiaan
 - Pyydykset tyhjennetään 4-5 kertaa kasvukauden aikana (n. kuukauden välein)
 - Luonnonvarakeskus mittaa lajimäärän ja määrittää keräysastiaan päätyneet hyönteiset
- Kirjanpainajaseurannan yhteydessä seurataan myös joillain paikoilla eri feromonipyydyksillä havununna-perhosen (*Lymantria monacha*) määrää
 - [Kirjanpainaja- ja havununnaseuranta](#) (Luke)
 - [Vuoden 2022 Metsätuhoraportti](#) (Luke)

Koulutuspaketin sisältö

- Kirjanpainaja - Lajin esittely
 - Kirjanpainaja (Ips typographus)
 - Kirjanpainajasukupolven kehitys
 - Kirjanpainajan sukupolvet
- Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- Abioottiset tuhot muuttuvassa ilmastossa – ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
- Kirjanpainaja tuhonaiheuttajana
 - Ennaltaehkäisy ja varautuminen
 - Lisääntyneen riskin alueet
 - Tuhojen hoito
 - Seuranta
- **Kirjanpainajatuhon tunnistaminen**
 - **Kaatuneet ja katkenneet rungot**
 - **Pystypuut**
 - **Ilma- ja satelliittikuvat**
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Tuhon tunnistaminen

Kaatuneet tai katkenneet rungot

- Iskeymäreiät, joissa ruskeita purukasoja.
 - Purua voi näkyä myös pystypuun juurella tai oksanhaarassa.



Kuvat: © Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa

- Syömäkuviot kaarnan alla.



Tuhon tunnistaminen

Pystypuut

- Elävissä puissa pihkavuotoa iskeymärei'issä.



Kuvat: © Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa

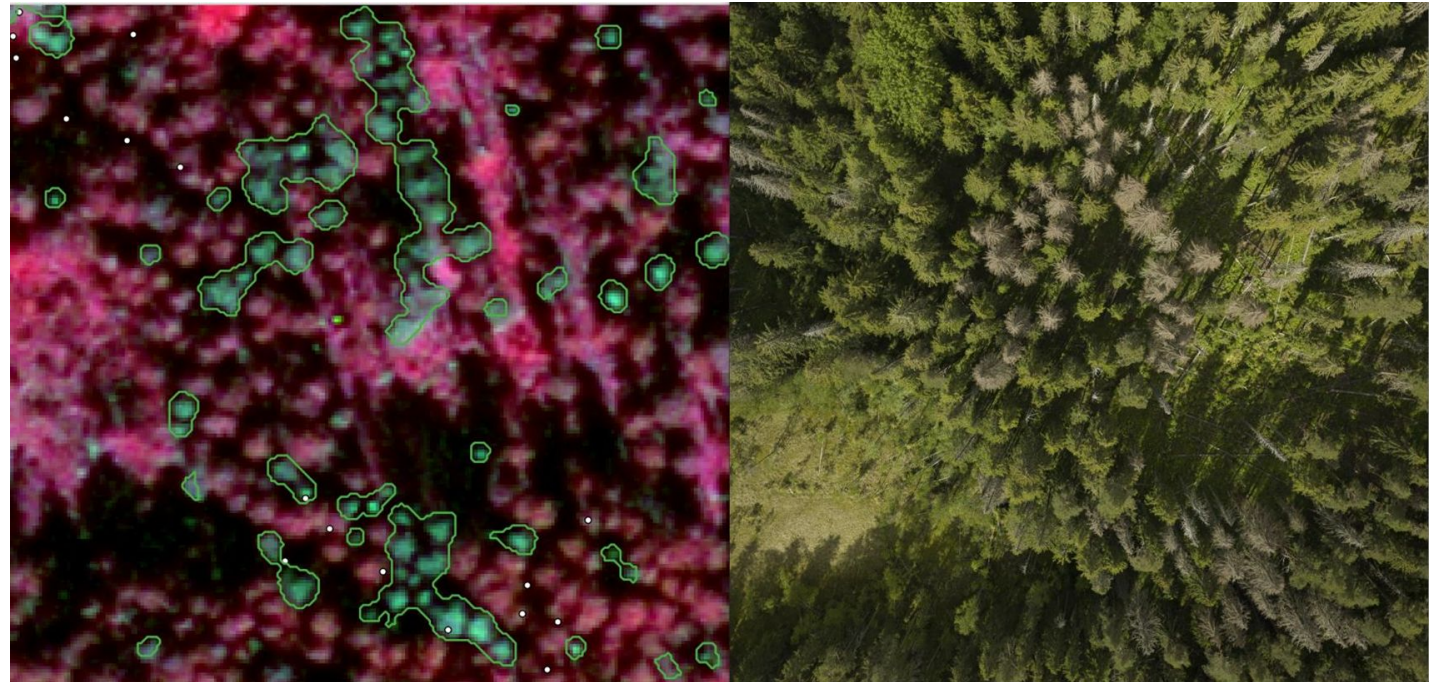
- Nestevirtauksen heikentyessä puun latvus harsuuntuu ja neulasten väri muuttuu keltaiseksi ja lopulta punaruskeaksi.
- Kuivunut, irtoava kaarna on selkeä merkki kaarnakuoriaistuhosta.



Tuhon tunnistaminen

Ilma- ja satelliittikuvat

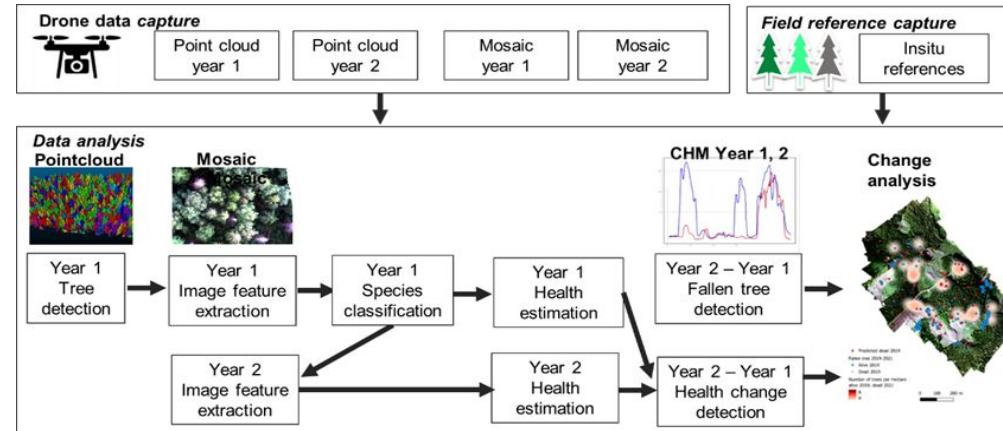
- Kuollut puusto pystytään tunnistamaan luotettavasti ilma- ja satelliittikuvilta, joiden resoluutio on 0.5 m tai parempi
- Tuoreet kuolleet puut erottuvat paremmin kuin vanhat (yli 5 v)
- Kuolleen puuston määrä indikoi tuhon laajenemisen riskiä
- Tietoa tuottaa esimerkiksi KOKO Forest Oy



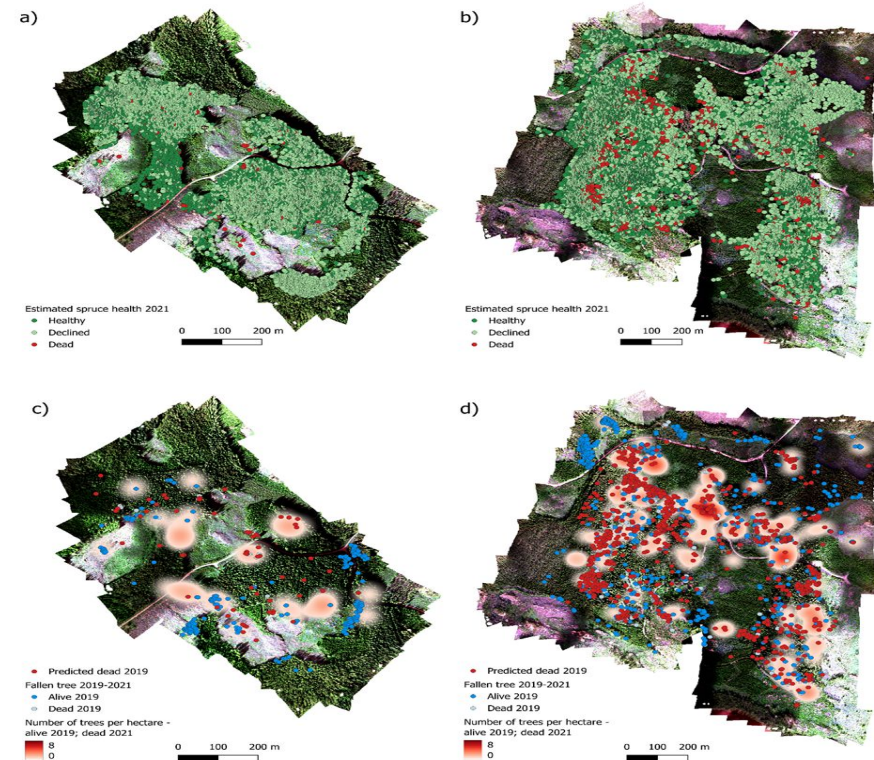
Tuhon tunnistaminen

Ilma- ja satelliittikuvat

- Drone- ja satelliittikuva-aineistojen käyttöä metsätuhojen kartoituksessa ja seurannassa pyritään kehittämään jatkuvasti
- Esimerkkeinä Sprucerisk-hankkeessa kehitettyjä tai testattuja menetelmiä (ei vielä julkaistuja)
 - Kuva 1: Muutostulkintaan perustuva menetelmä, jossa droneaineistoja hyödynnetään Sentinel-2 –satelliittikuvien tulkinnassa (Östersund ym. 2023, käsikirjoitus)
 - Kuva 2: Kuusipuiden terveyden muutosanalyysi. Terveyskartat (a & b) ja muutoskartat (c & d) kahdelta eri kohteelta (Östersund ym. 2023, käsikirjoitus)



Kuva 1: Östersund ym. 2023 (käsikirjoitus)



Kuva 2: Östersund ym. 2023 (käsikirjoitus)

Koulutuspaketin sisältö

- Kirjanpainaja - Lajin esittely
 - Kirjanpainaja (*Ips typographus*)
 - Kirjanpainajasukupolven kehitys
 - Kirjanpainajan sukupolvet
 - Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
 - Abioottiset tuhot muuttuvassa ilmastossa – ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
 - Kirjanpainaja tuhonaiheuttajana
 - Ennaltaehkäisy ja varautuminen
 - Lisääntyneen riskin alueet
 - Tuhojen hoito
 - Seuranta
 - Kirjanpainajatuhon tunnistaminen
 - Kaatuneet ja katkenneet rungot
 - Pystypuut
 - Ilma- ja satelliittikuvat
- **Lisätietoa**
 - **Kartta- ja seurantapalvelut**
 - **Lisätietolinkit**
 - **Kirjallisuusluettelo**

Kartta- ja seuranta palvelut

- [Metsätuhohakkuut](#) (Metsäkeskus)
- [Metsänkayttöilmoitukset](#) (Metsäkeskus)
- [Tuhohyönteisten ennustekartat](#) (Luke)
- [Lumi- ja tuulituhojen riskikartat](#) (Luke)
- [Ilmoita metsätuhosta](#) (Luke)
- [Kirjanpainajan iskeymälle alttiit alueet](#) (Metsäkeskus)
- [Tehoisan lämpösumman seurantakartta](#) (Metsäkeskus)

Lisätietoa

- [Tietoa tuhonaiheuttajista](#) (Luke)
- [Tuhot metsissä](#) (Metsäkeskus)
- [Metsänhoidon suositukset - kirjanpainajatuhojen torjunta](#) (Tapio)
- [Metsänhoidon suositukset - ilmastokestävä metsänhoito](#) (Tapio)
- [Kirjanpainaja kuusikossa: ennakointi, hallinta ja torjunta](#) (Metsäkeskus)
- [Kirjanpainaja kuusikossa- verkkokoulutus](#) (Metsäkeskus)
- [Kirjanpainaja metsätuhoaiheisissa Mättäällä- podcasteissa, jaksot 9-11](#) (Metsäkeskus)
- [Ruotsalainen Stoppa borrharna! –hanke](#) (Skogsstyrelsen)

Kirjallisuusluettelo

- Aalto, J. ym. 2021. High-resolution analysis of observed growing season variability over northern Europe. *Climate Dynamics* 58. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05970-y>
- Blomqvist, M. ym. 2018. Modelling the predisposition of Norway spruce to Ips typographus L. infestation by means of environmental factors in southern Finland. *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1133-0>
- Junttila, S. ym. 2022. Multispectral Imagery Provides Benefits for Mapping Spruce Tree Decline Due to Bark Beetle Infestation When Acquired Late in the Season. *Remote Sensing* 14(4):909. <https://doi.org/10.3390/rs14040909>
- Kanerva, H. ym. 2022. Estimating Tree Health Decline Caused by Ips typographus L. from UAS RGB Images Using a Deep One-Stage Object Detection Neural Network. *Remote Sens* 14: 6257. <https://doi.org/10.3390/rs14246257>
- Kosunen, M. ym. 2019. Response of soil surface respiration to storm and Ips typographus (L.) disturbance in boreal Norway spruce stands. *Forests* 10, 307. <https://doi.org/10.3390/f10040307>
- Lehtonen, I. ym. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2020:5. <http://hdl.handle.net/10138/319348>
- Lehtonen, I. ym. Projected decrease in wintertime bearing capacity on different forest and soil types in Finland under a warming climate. *Hydrology and Earth System Sciences Discuss*. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-727>
- Näsi, R. ym. 2018. Remote sensing of bark beetle damage in urban forests at individual tree level using a novel hyperspectral camera from UAV and aircraft. *Urban Forestry & Urban Greening* 30, 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.010>
- Pelto-Arvo, M. 2020. The impact of forest health status on natural enemies and associates of the European spruce bark beetle Ips typographus (L.). Master's thesis. Department of Forest Sciences, University of Helsinki. 93 p. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-202003031484>
- Tuomenvirta, H. ym. 2018. Sää- ja ilmatoriskit Suomessa - Kansallinen arvio. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 43/2018. 107 s. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/43-2018-Saa%20ja%20ilmatoriskit%20Suomessa.pdf>
- Turkulainen, E. ym. 2023. Comparison of Deep Neural Networks in the Classification of Bark Beetle-Induced Spruce Damage Using UAS Images. *Remote Sens*. 5:4928. <https://doi.org/10.3390/rs15204928>



Juurikäävän koulutusmateriaali, luonnos

Sprucerisk-hanke

TAPIO 

Koulutuspaketin tarkoitus

- Metsänhoitosuosituksen mukaisen metsänhoidon lisääminen ja ylläpito
 - Metsätuhojen vähentäminen ja ennaltaehkäisy
 - [Metsänhoidon suositukset - juurikääpätuhojen torjunta](#) (Tapio)
 - Ilmastokestävän metsänhoidon kouluttaminen
 - [Metsänhoidon suositukset - ilmastokestävä metsänhoito](#) (Tapio)
- Ajantasainen tieto metsäammattilaisille ja kouluttajille
 - Metsäalan opiskelijoiden koulutus
 - Metsäalan ammattilaisten täydennyskoulutus
- Sprucerisk-projektin tutkimustulosten esittely ja vienti koulutustarkoituksessa
 - Juurikääpätuho-oppaan esittely
 - Oppaan päivitys kesken
 - [Juurikääpätuhojen tunnistaminen ja torjunta](#) (Metsäkeskus)
- Kansallisen metsätuhotietoisuuden laajentaminen
 - Kirjanpainaja- ja kuusenjuurikäävän tuhojen tunnistaminen ja tuhoriskien arviointi

Koulutuspaketin sisältö

- Kuusenjuurikäpä - Lajin esittely
 - Kuusenjuurikäpä (*Heterobasidion parviporum*)
 - Juurikäävän leviäminen
 - Juurikäävän esiintyminen
- Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- Ilmastonmuutos ja metsätuhot – ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
 - Ilmaston lämpeneminen ja juurikäpä
- Kuusenjuurikäpä tuhonaiheuttajana
 - Havaitseminen ja tunnistaminen
 - Juurikäävän torjunta
 - Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäpä
 - Kantokäsittely
 - Kannonnosto
 - Sulan maan hakkuut ja raivaukset
 - Jaksollinen kasvatus
 - Jatkuva kasvatus
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Koulutuspaketin sisältö

- **Kuusenjuurikäpää - Lajin esittely**

- **Kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*)**
- **Juurikäävän leviäminen**
- **Juurikäävän esiintyminen**

- **Metsätuhot**

- Hallinnan vaiheet
- Metsätuholaki
- Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet

- **Ilmastonmuutos ja metsätuhot**
– ennaltaehkäisy ja vaikutukset

- Lämpötilan kasvu
- Kuivuustuhot
- Tuuli- ja lumituhot
- Ilmaston lämpeneminen ja juurikäpää

- **Kuusenjuurikäpää tuhonaiheuttajana**

- Havaitseminen ja tunnistaminen
- Juurikäävän torjunta
- Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäpää
 - Kantokäsittely
 - Kannonnosto
 - Sulan maan hakkuut ja raivaukset
 - Jaksollinen kasvatus
 - Jatkuva kasvatus

- **Lisätietoa**

- Kartta- ja seurantapalvelut
- Lisätietolinkit
- Kirjallisuusluettelo

Kuusenjuurikäätä (*Heterobasidion parviporum*)

- Aiheuttaa tyvilahoa kuusikoissa (ja lehtikuusikoissa)
 - Aiempi kutsumanimi kuusikossa maannousema
 - Männiköissä männynjuurikäätä (*Heterobasidion annosum*) kutsutaan tyvitervastaudiksi
 - Kutsuttu myös juurilahoksi
 - Männynjuurikäätä lahottaa myös muita puulajeja kuten kuusta, katajaa, koivua, lehtikuusta.
- Leviää sulan maan hakkuissa
- Kesähakkuiden aloitus 1970-luvulla laukaisi ongelman
 - Kantokäsittelyt yleistyivät vasta 1990-luvun alkupuolella
- Kuusenjuurikäävän aiheuttama arvonmenetys puutavarassa on vuosittain n. 51 miljoonaa euroa
 - Männynjuurikäävän arvio 0,5-4,4 milj€
- Juurikäätä säilyy tartuntakykyisenä päätehakkuukannoissa jopa 40-50 vuotta



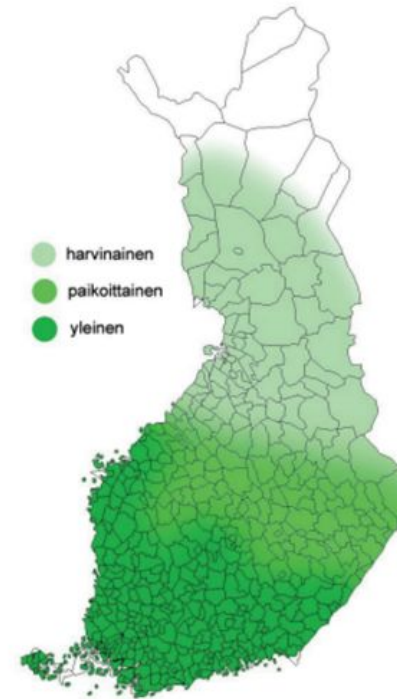
Juurikäävän itiöemiä varastoidussa kuusen kannossa. Kuva: ©Tuula Piri, Luke.

Juurikäävän leviäminen

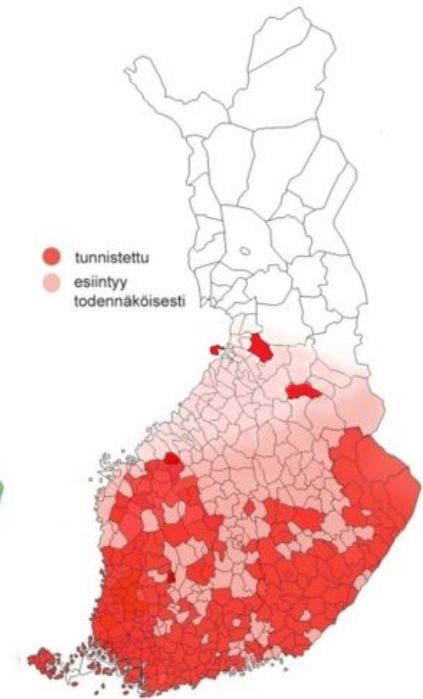
- Leviäminen ja tartunnat
 - Itiölevitteisesti ilmaitse
 - Juuristo- ja runkovauriot
 - Tuoreet hakkuupinnat
 - Suurin osa tartunnoista muutamassa vuorokaudessa
 - Viikon kuluttua tartuntariskiä ei ole
 - Talvihakkuukannot eivät alttiita juurikäävälle keväällä
 - Tartuntariskiä voimistaa juurikäävän esiintyminen alueella
 - Sienirihmastoissa puuaineessa
 - Juuriyhteydet
 - Siirtyy päätehakkuun jälkeisistä kannoista uuteen puusukupolveen
- Itiötuotanto
 - Alkaa keväällä ilman lämpötilan noustessa yli +5 °C
 - Päättyy lämpötilan jäädessä pysyvästi nollan alapuolelle
- Vuotuinen leviämisenopeus
 - Kuusen kannon juuristossa n. 60 cm
 - Elävän kuusen juuristossa n. 20 cm
 - Elävän kuusen rungossa sydän- ja mantopuussa 20-35 cm

Juurikäävän esiintyminen

- Juurikäöpää tavataan koko maassa
 - Tulevaisuudessa riskialue laajenee yhä pohjoisemmas
 - Luke päivittää juurikääpien esiintymiskartat 2024
- Juurikäävän esiintymistä voimistavat
 - Kasvukauden pidentyminen
 - Kevään varhaistuminen
 - Tehoisan lämpösumman kohoaminen
- Tulevaisuudessa juurikäävän esiintymistä voidaan saada täsmällisempää tietoa hakkuukoneiden keräämän tiedon avulla
 - Luken TyviTuho-hanke
 - [TyviTuho-hankkeen esitys, Hiilestä kiinni seminaari 3.11.2023](#) (Luke)
 - [TyviTuho-projektin sivut](#) (Luke)
 - Tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi metsän uudistamisen yhteydessä



Kuva 1. Kuusen tyvilahon levinneisyys 2017. Lähde: Luke.



Kuva 2. Männyn tyvitervastaudin levinneisyys 2022. Lähde: Luke.

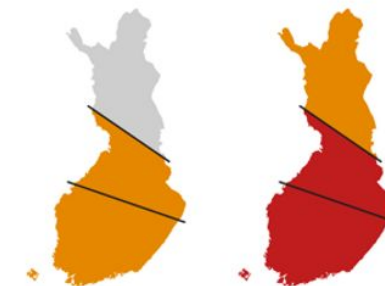
Suuntaa antavat vaikutukset (Riski)

Lähitulevaisuudessa (2020–2040)

Myöhemmin (2040–2070)

pääosin RPC4.5 ja 8.5 skenaarioiden perusteella

Juurikäpäätuhoriski kuusella ja männyllä Viite B



Riski

- kasvaa paljon
- kasvaa jossain määrin
- ei juuri muutosta
- vähenee jossain määrin
- vähenee paljon

Koulutuspaketin sisältö

- Kuusenjuurikäpää - Lajin esittely
 - Kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*)
 - Juurikäävän leviäminen
 - Juurikäävän esiintyminen

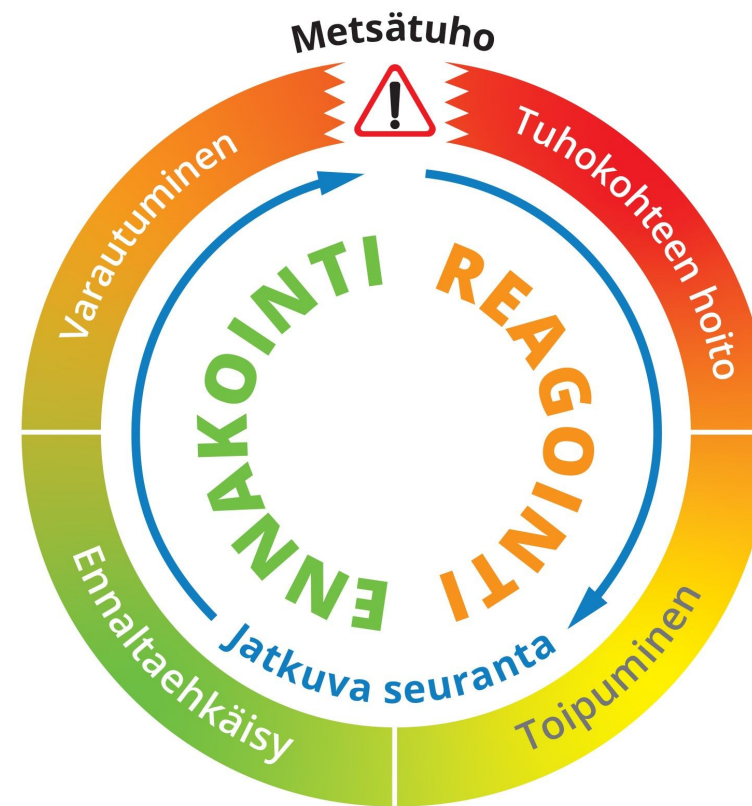
• **Metsätuhot**

- **Hallinnan vaiheet**
 - **Metsätuholaki**
 - **Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet**
- Ilmastonmuutos ja metsätuhot
 - ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
 - Ilmaston lämpeneminen ja juurikäpää

- Kuusenjuurikäpää tuhonaiheuttajana
 - Havaitseminen ja tunnistaminen
 - Juurikäävän torjunta
 - Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäpää
 - Kantokäsittely
 - Kannonnosto
 - Sulan maan hakkuut ja raivaukset
 - Jaksollinen kasvatus
 - Jatkuva kasvatus
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Metsätuhoriskien hallinnan vaiheet

- Ennaltaehkäisy
 - Sekapuustoisuus
 - Oikea-aikaiset ja sopivat maanmuokkaus- ja metsänhoitotoimenpiteet
 - Ilmeisen tuhoriskin alueella uudistushakkuut
 - Tuhoille altistavien käsittelyjen välttäminen
 - Juurikäävän torjunta metsätuholain mukaisesti
- Varautuminen
 - Riskikohteiden säännöllinen tarkastelu
 - Juurikäävän tunnistaminen hakkuissa
- Tuhokohteen hoito
 - Tuhojen arviointi ja toimenpiteiden suunnittelu
 - Metsätuholain ylittävän tuhopuuston korjuu
 - Hakkuuilmoitus tuhokohteen hakkuuna
 - Havupuutavaran kesäaikaisten korjuu- ja varastointirajoitusten huomiointi

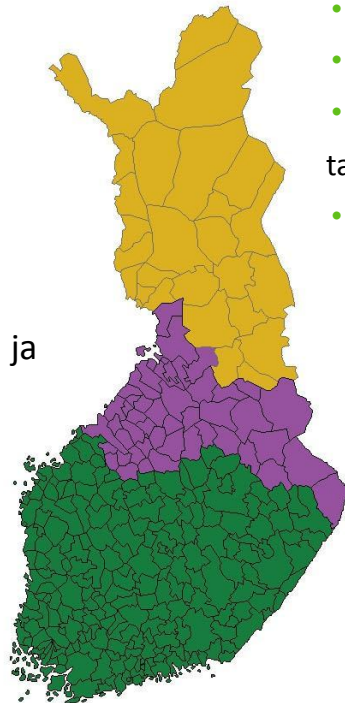


Kuva: Mukailleen lähteestä European Forest Risk Facility 2020.

Metsätuholaki

- [Laki metsätuhojen torjunnasta \(1087/2013\)](#) (Finlex)
- Lain tarkoituksena on
 - Ylläpitää metsien terveydentilaa
 - Torjua metsätuhoja
- Velvoittaa hakkuun tekijän huolehtimaan juurikäävän torjunnasta
 - Eteläisessä (kartan vihreä alue) ja keskisessä (violetti alue) Suomessa 1.5.-30.11. välisenä aikana
 - Kantokäsittely havupuuvaltaisilla aloilla kasvatus- ja uudistushakkuissa
 - Kivennäismaalla ja eteläisen Suomen turvemailla, jos **havupuuston** tilavuus metsikössä on yhteensä yli 50 %
 - Turvemaalla, jos **kuusen** tilavuus metsikössä on yli 50 %
 - Torjuntavelvoite koskee myös ei-metsänhoidollisia havupuuvaltaisia hakkuita, kuten sähkölinjojen sekä teiden ja rautateiden varsien käsittelyä
 - Ei koske kotitarvehakkuita

- Poikkeuksia ja tarkennuksia metsätuholain velvoitteisiin
 - Hyväksytyt torjuntamenetelmät
 - Kantokäsittely hyväksytyllä kasvinsuojeluaineella
 - Puulajin vaihtaminen lehtipuuksi uudistushakkuun jälkeen
 - Ei hyväksyttäviä
 - Kantojen nosto
 - Kulotus
 - Juurikäävän torjuntaan ei ole velvoitetta jos
 - Terminen kasvukausi ei ole alkanut
 - Hakkuuvuorokauden alin lämpötila kohteella on alle 0 °C
 - Kohteella maassa on yhtenäinen lumipeite
- tai
- Kohteen sijaintikunnan alin lämpötila kolmen viikkoa ennen hakkuuta on ollut > -10 °C



Kuva: [Metsäkeskus](#)

Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet

- Metsätuholain mukaisesti tuoreen ja kaarnakuoriaisille lisääntymiskelpoisen, yli 10 m³/ha kuusipuutavaran poistaminen on lähtökohtaisesti sallittua metsälain 10 § kohteilta tai kestävän metsätalouden rahoituslain (KEMERA) mukaisilta määräaikaisilta ympäristötukialueilta
- Hakkuutoimenpiteistä tehtävä metsänkäyttöilmoitus Metsäkeskukselle (juurikäpätuhotapauksissa hakkuun tarkoitukseksi merkitään koodi 6: metsätuhoalue)
 - Metsätuhosta tulee tehdä merkintä metsänkäyttöilmoitukseen, jos tuho on johtanut hakkuun suunniteluun
 - Tärkeä tieto myös metsien terveyttä ja tuhotilannetta seuraaville tahoille
 - Hakkuussa poistetaan 10 m³/ha ylittävä osa
- Hakkuun jälkeen Metsäkeskus arvioi kohdekohtaisesti ja ympäristötukisopimuksen mukaisesti elinympäristön tilan, ympäristötukisopimuksen jatkumisen sekä mahdollisen takaisinperittävän osuuden
- Ympäristötukisopimuksia mahdollista purkaa kesken sopimuskauden kirjanpainajariskin ollessa suurta
- **Poikkeuksena** metsälain 10§ tarkoitetuilla kohteilla ja Natura 2000 –verkoston alueilla on mahdollista jättää suurempi määrä tuoretta vahingoittunutta puuta, mikäli alueen lahoppuuston määrää on tarkoitus kasvattaa
 - Tällöin maanomistajan tulee ilmoittaa puiden poistamatta jättämisestä Metsäkeskukselle

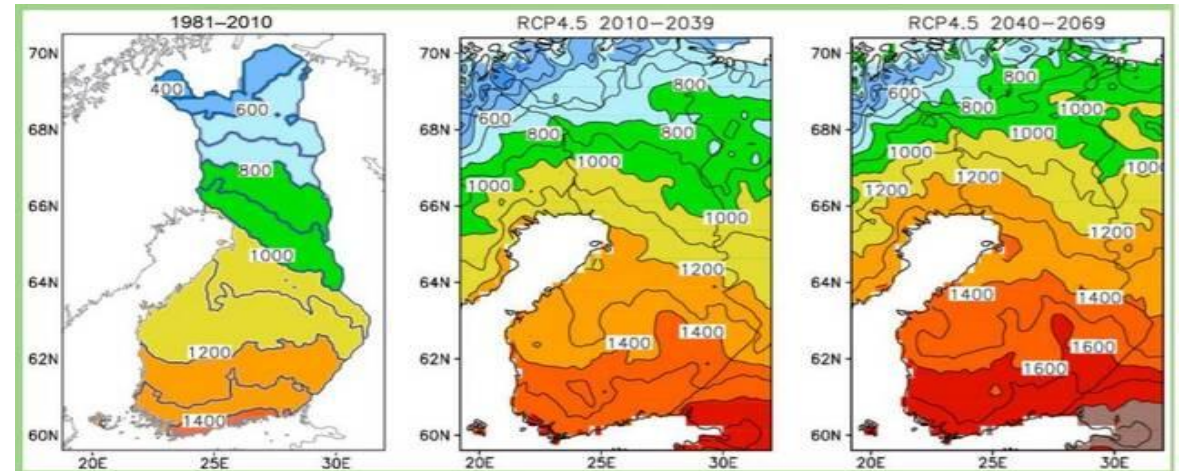
Koulutuspaketin sisältö

- Kuusenjuurikäpää - Lajin esittely
 - Kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*)
 - Juurikäävän leviäminen
 - Juurikäävän esiintyminen
- Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- **Ilmastonmuutos ja metsätuhot – ennaltaehkäisy ja vaikutukset**
 - **Lämpötilan kasvu**
 - **Kuivuustuhot**
 - **Tuuli- ja lumituhot**
 - **Ilmaston lämpeneminen ja juurikäpää**
- Kuusenjuurikäpää tuhonaiheuttajana
 - Havaitseminen ja tunnistaminen
 - Juurikäävän torjunta
 - Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäpää
 - Kantokäsittely
 - Kannonnosto
 - Sulan maan hakkuut ja raivaukset
 - Jaksollinen kasvatus
 - Jatkuva kasvatus
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Lämpötilan kasvu

Vaikutukset

- Lämpötilan kasvu suhteellisesti voimakkaampaa pohjoisilla alueilla
 - Puuston kasvun on ennakoitu jopa yli kaksinkertaistuvan pohjoisessa Suomessa tämän vuosisadan aikana
 - Myös juurikäävän aktiivisuus lisääntyy lämpötilan noustessa
 - Optimilämpötila juurikääpäsiementen kasvulle +22 - +28 °C
- Kuivuus
 - Hellepäivien määrä lisääntyy ja kuivuusjaksot yleistyvät sekä keväällä että kesällä
- Tuulituhot
 - Tuulisuudessa ja myrskyjen esiintymisessä ei arvioida tapahtuvan suuria muutoksia
 - Voimakkaiden myrskyjen osuus saattaa kasvaa
 - Kylmiä talvia esiintyy aikaisempaa harvemmin



Tehoisan lämpösunnan muutoksen ennusteet vuoteen 2069 asti.

Kuvissa esitetty skenaario RCP4.5 kuvaa kohtuullista ilmastonmuutosta. Kuva: Ilmatieteen laitos.

Abioottiset tuhot

Ennaltaehkäisy

- Kiertoaika ja hakkuut
 - Huomio myös tuleviin kasvuolosuhteisiin
 - Vallitsevien ennusteiden mukaan nyt istutetut kuuset kohtaavat aiempaa **voimakkaampia** ja **toistuvampia** kuivuusjaksoja ennen uudistuskypsyttä
 - Voimakasta kasvatusharvennusta tulee välttää kuivuuden aikana
- Kasvupaikka ja puulajivalinta
 - Suositaan kasvupaikkakohtaisesti parhaiten menestyviä puulajeja
 - Etelä-Suomessa viljellään kuusta harkiten vain sille sopiville kasvupaikoille
 - Mänty kestää tuulituhoja koivua ja kuusta paremmin
 - Kuusta uudistaessa suositaan kuusi-lehtipuu tai kuusi-mäntyseosta
 - Taimikkoa perustaessa merkitystä myös siementen alkuperällä ja jalostuksella
 - Otetaan huomioon ilmaston ennakoitujen lämpenemisen aiheuttamat muutokset kasvupaikan kosteudessa
 - Lisäksi huomio alueen
 - Maaston muotoihin
 - Maaperään
 - Vallitsevaan tuulensuuntaan
 - Etenkin kuivuudesta kärsiville kohteille, kuten kumpareille, mäkimaille ja karkeajakoisille maapohjille ja savimaille suositellaan uudistushakkuun jälkeen kuivuutta paremmin kestävien puulajien ja sekapuuston suosimista

Abioottiset tuhot

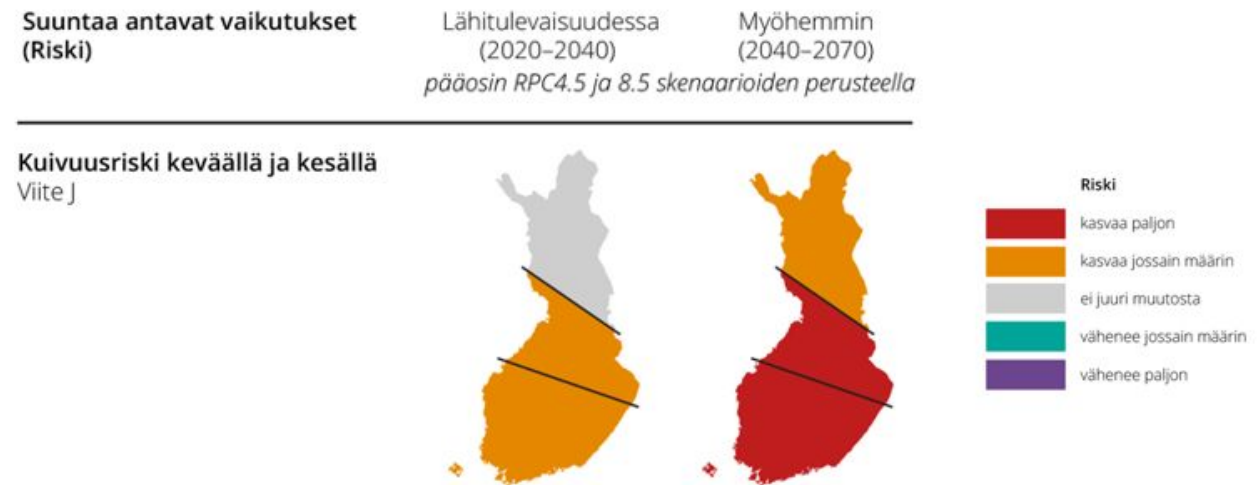
Ennaltaehkäisy

- Metsänhoitotoimenpiteet
 - Oikea-aikainen ja suositusten mukainen taimikonhoito ja harvennushakkuut, huomioiden kantokäsittely/vuodenaika
 - Estää puuston riukuuntumista
 - Vahvistaa puiden juuristoa ja runkoa kestämään tuuli- ja lumikuormaa
 - Tuulituhoriski kasvaa puuston pituuden lisääntyessä
 - Rungon kapeus altistaa tuhoille jo vähäisemmällä tuulennopeudella
 - Juurikäävän torjunta suositusten mukaisesti
 - Heikentynyt puusto on altista tuulituhoille
 - Joissain tapauksissa kiertoajan lyhentäminen voi olla perusteltua
 - Lumituhot altistavat puustoa myös muille tuhonaiheuttajille kuten kirjanpainajalle, ytimennävertäjille ja juurikäävälle
 - Lumi- ja tuulituhoihin voidaan varautua tarkastelemalla ennustemalleja korkean riskin kohteista
 - [Lumi- ja tuulituhojen riskikartat](#) (Luke)
- Metsänhoitotoimenpiteiden vaaranpaikat
 - Kasvatusmetsissä tuulituhoriski on suurinta heti harvennuksen ja mahdollisen lannoituksen jälkeen
- Vältetään
 - Puuston suuria pituuseroja vierekkäisillä metsikkökuvioilla
 - Liian voimakkaita harvennuksia

Abioottiset tuhot

Vaikutukset - kuivuus

- Puuston stressitason nousu
 - Alttiimpi tuhohyönteisille ja kuusenjuurikäävälle
- Kasvutappiot
 - Versojen tai latvaosien kuivuminen
- Taimien juuristovauriot ja kuivuuskuolemat
 - Maaperän toistuva sulaminen ja jäätyminen aiheuttaa juuristovaurioita
 - Taimet pystyvät ottamaan vettä vain maan pintakerroksista
- Voimistuvat kuivuusriskit lisäävät myös metsäpaloriskejä



Kuva: Venäläinen ym. (2020) <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>

Abioottiset tuhot

Vaikutukset - tuuli- ja lumituhot

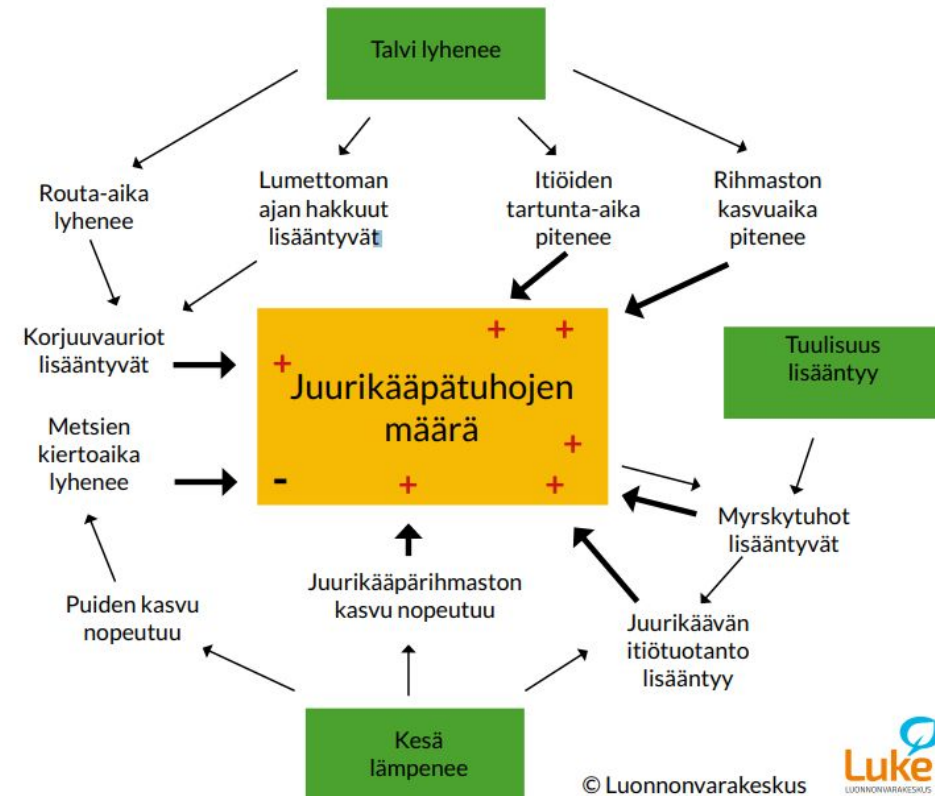
- Puuston latvuksiin kertynyt märkä ja painava lumikuorma nostaa tuhoriskiä
- Tuhoriskien oletetaan kasvavan eniten Suomen etelä- ja keskiosissa.
 - Erityisesti riski nousee turvemaidella roudan vähentyessä
- Taloudellisia tappioita
 - Puutavaran arvo alenee, koska tukkipuuta siirtyy kuitupuuksi ja jopa energiapuuksi
 - Kasvutappioita ennen aikaisten hakkuiden tai tuulituhon aiheuttaman liian alhaisen kasvatustiheyden vuoksi
- Laaja-alaisen myrskyn jälkeen osa tuhopuustosta saattaa jäädä korjaamatta tai korjuu viivästyy
 - Seuraustuhot, kuten kirjanpainajan, ytimennävertäjien tai juurikäävän tuhot voivat lisääntyä
- Toisaalta metsään jätetyt tuulenkaadot tärkeää lahoppuuta ja hiilivarastoja
 - Lehtipuutuulenkaatoja voi jättää lisäämään metsän monimuotoisuutta
 - Havupuiden tuulenkaatoja jätetään vain metsätuholain sallimissa rajoissa



Kuva: © Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa

Ilmaston lämpeneminen ja juurikäätä

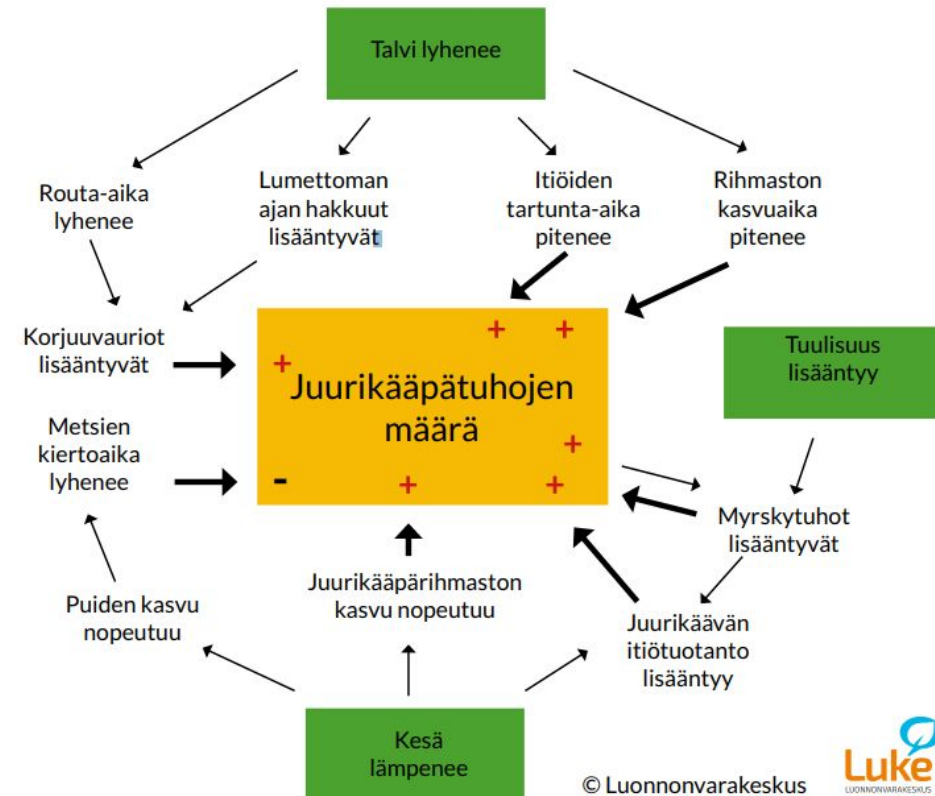
- Juurikäätä hyötty ilmaston lämpenemisestä
 - Keskilämpötilan noustessa juurikäätärihmaston kasvu nopeutuu
 - Kasvu ja leviäminen alkaa entistä aikaisemmin keväällä ja jatkuu yhä myöhemmälle syksyyn
 - Jo parin asteen lämpötilan nousu nopeuttaa juurikäävän leviämistä kuusen rungossa neljänneksellä
 - Merkitsee kymmenen vuoden jaksolla noin puoli metriä ylimääräistä lahoa sairastuneissa puissa
 - Juurikäävälle suotuisten olosuhteiden parantuessa myös tartunnan saaneiden runkojen määrä lisääntyy
 - Puiden kasvu lisääntyy, mikä osaksi kompensoi juurikäävän aiheuttamaa menetystä
 - Juurikäätä kuitenkin arvokkaimmassa tyviosassa



Ilmastonmuutoksen vaikutukset juurikäätäpuhojen määrään. Kuva: © Luke.

Ilmaston lämpeneminen ja juurikäätä

- Viileämmässä rihmaston kasvu hidastuu
 - Lämpötilan laskiessa nollaan kasvu ja itiötuotanto pysähtyy
 - Sienirihmasto kuolee, jos lämpötila laskee alle $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Suomen olosuhteissa maalämpötila tuskin koskaan näin alhainen
 - Viileä ilmasto on todennäköisesti rajoittanut juurikäävän leviämistä Pohjois-Suomeen
 - Hakuut ovat rajoittuneet pakkasjaksoille pitkinä ja kylminä talvina
- Leutojen talvien vuoksi yhä suurempi osa hakuista joudutaan tekemään sulan maan aikana
 - Itiötartunnat lisääntyvät
 - Lämpötilan noustessa juurikäätä hivuttautuu yhä pohjoisemmaksi



Ilmastonmuutoksen vaikutukset juurikäätötuhojen määrään. Kuva: © Luke.

Koulutuspaketin sisältö

- Kuusenjuurikäpää - Lajin esittely
 - Kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*)
 - Juurikäävän leviäminen
 - Juurikäävän esiintyminen
- Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- Ilmastonmuutos ja metsätuhot – ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
 - Ilmaston lämpeneminen ja juurikäpää

- **Kuusenjuurikäpää tuhonaiheuttajana**
 - **Havaitseminen ja tunnistaminen**
 - **Juurikäävän torjunta**
 - **Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäpää**
 - **Kantokäsittely**
 - **Kannonnosto**
 - **Sulan maan hakkuut ja raivaukset**
 - **Jaksollinen kasvatus**
 - **Jatkuva kasvatus**
- Lisätietoa
 - Kartta- ja seurantapalvelut
 - Lisätietolinkit
 - Kirjallisuusluettelo

Kuusenjuurikäävän havaitseminen ja tunnistaminen

- Juurikäpä lahottaa enimmäkseen kuollutta sydänpuuta
- Pystypuista juurikäävän havaitseminen todella hankalaa, jopa mahdotonta
 - Puu voi säilyä jopa vuosikymmeniä ulkoisesti hyväkuntoisena
 - Puu alkaa oireilla ulkoisesti vasta lahon edetessä elävään mantopuuhun
 - Tartunta paljastuu usein vasta hakkuun aikana
 - Tarkkailu tärkeää metsänhoitotöiden yhteydessä
 - Hakkuun aikainen ja jälkeinen katkontapintojen tarkastelu
- Havainnot yleensä
 - Hakkuun yhteydessä tyveltään lahonneista rungoista
 - Metsikön sisältä löytyvistä lahojuurisista tuulenskaadoista tai vanhoista kannoista
 - Näistä voi löytää myös juurikäävän itiöemiä eli kääpiä
 - Etenkin kosteista oloista, kuten kasvillisuuden suojasta tai karikekerroksen alta
 - Käävät yläpuolelta kanelinruskeita, alapuolen pillistö hohtavan valkoinen
 - Myrskytuhoissa katkenneiden puiden ja kokonaan kaatuneiden lahojen juurien tarkastelu



Vasemmalla näkyvissä juurikäpälahoa ja oikealla mesisienilahoa. Kuva: @Tuula Piri, Luke.

Kuusenjuurikäävän havaitseminen ja tunnistaminen

- Kuusenjuurikäävän tavanomaisia oireita:
 - Pituuskasvun tyrehtyminen
 - Latvuksen harsuuntuminen ja neulasten värin haalistuminen
 - Mahdolliset pihkavuodot rungossa
 - Rungon tyviosan paksuuntuminen
 - **Näille oireille voi kuitenkin olla myös muita syitä kuin juurikäpä**
- Helpoiten havaittavat erot myös yleisiin mesisieniin
 - Juurikäpälaho on vaaleanruskeaa, mesisienilaho tummanruskeaa
 - Myös mesisieni lahottaa kannon usein ontoksi, mutta laho ei nouse ylös runkoon
 - Mesisienilahossa raja terveen ja lahon puun välillä on jyrkkä toisin kuin juurikäpälaholla
 - Voivat esiintyä myös samassa puussa yhtä aikaa



Vasemmalla näkyvässä juurikäpälahoa ja oikealla mesisienilahoa. Kuva: © Tuula Piri, Luke.

Juurikäävän torjunta

- Tehokkainta on estää juurikäävän leviäminen uusille alueille
 - Toteuttamalla hakkuut ja metsänhoitotoimenpiteet talvella
 - **Kantokäsittely** havupuuvaltaisissa metsissä sulan maan aikaan tehdyissä hakkuissa
 - Sekapuustoisuuden suosiminen vähentää juurikäävän leviämistä
 - Puulajin vaihtaminen lehtipuuksi tehokkain tapa estää juurikäävän leviäminen ja säilyminen
- Lahon puutavaran pois vienti ei ehkäise juurikäävän leviämistä
 - Laho leviää juuriyhteyksien avulla maassa
 - Lahot kannot ja maapuut itiöemien (kääpien) kehittymisalustoja
- Jatkuvaa tutkimusta biologisen torjunnan edistämiseksi
 - Juurikäävän elinvoimaisuutta rajoittavat virukset
 - Juurikäävän kanssa kilpailevat lahosienet
- Tapion TaimiSankari-kuusentaimet
 - Sisältävät PaLAR3B alleelin
 - Hidastaa juurikäävän leviämistä jopa -27 %
 - Ei estä infektoitumista
 - Hyöty arvokkaan tyviosan säilyessä pidempään

Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäätäjä

Kantokäsittely

- Hakkuiden ja raivausten yhteydessä
 - Metsäkoneen hakkuupään levityslaitteistolla tai reppuruiskulla
 - Lain velvoite läpimitaltaan >10 cm havupuiden kannoille
 - Myös pienempiä kantoja suositellaan käsiteltäväksi
 - Kasvinsuojeluaineen tulee peittää vähintään 85 % kunkin käsiteltävän kannon pinnasta
 - Suositellaan kasvukauden aikana myös energiapuun korjuun yhteydessä
- Kantokäsittelyssä käytössä kahta eri ainetta
 - Urea (kemiallinen kontrolli)
 - Kannon pinta muuttuu emäksiseksi jolloin juurikäätävän itiöt eivät idä
 - Rajoituksena vähintään 10 metrin suojavajöhyke vesistöihin ja pienvesiin
 - Harmaaorvakka (biologinen kontrolli)
 - Valtaa kannon pinnan ennen juurikäätää
 - Kasvaa syvemmälle kuin mihin urean vaikutus yltää
 - Ei tartu kasvaviin puihin
 - Rajoituksena jäätyminen pakkasella

Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäätä

Kannonnosto

- **Ei poista juurikäätä**
 - Havupuiden kantojen korjuun avulla voidaan jonkin verran hillitä juurikäävän leviämistä
 - Ei suojaa seuraavaa puusukupolvea juurikäätartunnalta
 - Osa kannoista ja lahoista juurista jää aina korjaamatta
 - Juurikäätä voi säilyä yli kuusi vuotta tartuntakykyisenä hyvinkin pienissä, vain 15 mm:n paksuisissa juurenpätkissä
- Kantojen nostossa ja kuljetuksessa juurimateriaali leviää helposti laajemmalle alueelle
 - Uusia tautipesäkkeitä voi syntyä enemmän kuin jos kannot olisi jätetty nostamatta
 - Varastoidut kannot voivat levittää juurikäätä
 - Lahojen kuusikantojen varastointi lisää juurikäävän leviämiskä, jos kantojen poiskuljetuksesta ei huolehdita ajoissa.
 - kantokasojen alimmat ja kosteat kannot otollisia juurikäävän itiöemien kehittymiselle
- Kannonnostossa muistettava
 - Juurikäävän lahottaman puuaineksen poisto mahdollisimman tarkasti seuraavan sukupolven juurikäätartuntojen hillitsemiseksi
 - Jos hakkuu tehdään 1.5.-30.11., tulee hakkuun yhteydessä toteuttaa havupuun kantokäsittely tulevasta kannonnostosta huolimatta
 - Mikäli korjuukohteella ei todeta juurikäätä, tulee alueella jättää osa kannoista korjaamatta luonnon monimuotoisuuden ja maaperän tuotoskyvyn turvaamiseksi
 - Säätettävät havupuun kannot tulisi käsitellä kasvinsuojeluaineella
 - Kantojen varastointi aurinkoiselle ja kuivalle paikalle
 - Terveet kannot varastopinon alimmaisiksi
 - Kaikkien kantojen pois kuljetus tienvarsivarastosta viimeistään kahden vuoden kuluessa
 - Varaston alimmaistenkin kantojen keräys

Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäätäjä

Sulan maan hakkuut ja raivaukset

- Sulan maan harvennuskohteiksi valitaan ensisijaisesti lehtipuuvaltaisia leimikoita
- Puustovaurion riskin minimointi
 - Altistaa metsikköä tartunnalle
 - Riskin vähentämisen keinoja
 - Tarvittaessa kohteen ennakkoraivaus näkyvyyden parantamiseksi
 - Havupuuvaltaisten kohteiden korjuun välttäminen keväällä
 - Puiden kuori irtoaa helposti
 - Puut vaurioituvat herkemmin
 - Ajourilla riittävä leveys ja hakkuutähteen käyttö pystypuiden juuriston suojaamiseksi
- Sulan maan taimikonhoitotöissä ja ennakkoraivauksessa riski juurikäätävän leviämislle kasvaa, jos poistettavana on runsaasti havupuuta
 - Lämpimältä jo 2 cm havupuukanto voi levittää juurikäätävää kasvatettaviin puihin
 - Tartuntariski kasvaa poistettavien havupuiden läpimitan ja määrän kasvaessa
 - Riski korostuu esimerkiksi kylvömänniköiden taimikonharvennuksissa
- Raivauksessa havupuiden kantokäsittelyä on testattu, mutta käytännön toimivat menetelmät puuttuvat

Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäätä

Jaksollinen kasvatus

- Juurikäävän torjuminen ja vähentäminen jaksollisissa metsiköissä usein kustannustehokkaampaa jatkuvaan kasvatukseen verrattuna
 - Juurikäävän leviäminen metsikössä mahdollista
 - **Pysäyttää** uudistushakkuussa puulajia vaihtamalla
 - **Hidastaa** käyttämällä paremmin juurikäätä sietävää taimiainesta
 - Harvennushakkuussa havainto juurikäävästä voi vähentää tulevia hakkuukertoja
 - Juurikäävän leviämiskäsi pienenee hakkuukertojen ollessa vähäisiä
 - Vähemmän runko- ja juuristovaurioita
- Juurikäävän vaivaaman kuusikon uudistaminen kuuselle ei mielekäästä
 - Kantojen poisto, kulotus tai edes kantokäsittely ei kokonaan poista juurikäätä metsiköstä
 - Osa juuristosta jää maaperään tai hakkuutähteisiin ja sitä kautta juurikäätä pääsee leviämään uusiin puusukupolviin
- Juurikäätartunnan leviämistä nuorissa **mänty**taimikoissa voidaan rajoittaa
 - Kaatamalla taudin tappaman puun tai puuryhmän ympäriltä kaksi tai kolme riviä terveitä mäntyjä
 - Käsittelemällä niiden kannot harmaaorvakalla (mutta ei urealla)
 - Harmaaorvakka kasvaa männyllä myös puiden juuristoon katkaisten juurikäävän leviämiskäsi

Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäpää

Jatkuva kasvatus

- Metsän kasvatus ja uudistuminen perustuu paikalliseen taimiainekseen
 - Jos alueella jo juurikäpäää, leviää se todennäköisesti uusiinkin puihin
 - Puulajin vaihtaminen hankalaa luontaisessa uudistamisessa
 - Tiheäkasvuinen taimikko levittää juurikäpäää tehokkaasti
- Poiminta- ja pienaukkohakkuita tehdään useammin kuin jaksollisessa kasvatuksessa
 - Useampi käynti metsässä lisää runko- ja juuristovaurioiden riskiä
 - Hakkuiden ajoitus talvelle
 - Vähemmän puustovaurioita
 - Juurikäävän leviämisen riski pienempi
 - Sulan maan hakkuissa kantokäsittely metsätuholain velvoitteiden mukaisesti
- Jatkuvaa kasvatusta tulisi harjoittaa vain sellaisilla kohteilla jossa juurikäpäää ei ole

Koulutuspaketin sisältö

- Kuusenjuurikäpää - Lajin esittely
 - Kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*)
 - Juurikäävän leviäminen
 - Juurikäävän esiintyminen
- Metsätuhot
 - Hallinnan vaiheet
 - Metsätuholaki
 - Metsätuholaki, metsälain 10§ ja ympäristötukikohteet
- Ilmastonmuutos ja metsätuhot – ennaltaehkäisy ja vaikutukset
 - Lämpötilan kasvu
 - Kuivuustuhot
 - Tuuli- ja lumituhot
 - Ilmaston lämpeneminen ja juurikäpää
- Kuusenjuurikäpää tuhonaiheuttajana
 - Havaitseminen ja tunnistaminen
 - Juurikäävän torjunta
 - Metsänhoitotoimenpiteet ja juurikäpää
 - Kantokäsittely
 - Kannonnosto
 - Sulan maan hakkuut ja raivaukset
 - Jaksollinen kasvatus
 - Jatkuva kasvatus

• Lisätietoa

- **Kartta- ja seurantapalvelut**
- **Lisätietolinkit**
- **Kirjallisuusluettelo**

Kartta- ja seuranta palvelut

- [Metsätuhohakkuut](#) (Metsäkeskus)
- [Metsänkäyttöilmoitukset](#) (Metsäkeskus)
- [Lumi- ja tuulituhojen riskikartat](#) (Luke)
- [Ilmoita metsätuhosta](#) (Luke)
- [Tehoisan lämpösumman seuranta kartta](#) (Metsäkeskus)
- Luke päivittää juurikäävän ennustekartat vuonna 2024

Lisätietoa

- [Tietoa tuhonaiheuttajista](#) (Luke)
- [Tuhot metsissä](#) (Metsäkeskus)
- [Juurikäpätuhojen tunnistaminen ja torjunta](#) (Metsäkeskus)
- [Metsänhoidon suositukset - juurikäpätuhojen torjunta](#) (Tapio)
- [Metsänhoidon suositukset - ilmastokestävä metsänhoito](#) (Tapio)
- [TyviTuho-projektin sivut](#) (Luke) [Projektin valmistuu vuonna 2024]
 - [TyviTuho-hankkeen esitys, Hiilestä kiinni seminaari 3.11.2023](#) (Luke)

Kirjallisuusluettelo

- Piri, T., ym. 2019. Juurikäpätuhojen tunnistaminen ja torjunta. Offset Ulonen Oy, 2019. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/juurikaapatuhojen-tunnistaminen-ja-torjunta.pdf>
- Kasanen, R. 2009. Metsäpuiden sienitaudit. Metsäkustannus. 221 s.
- Piri, T. 1996. The spreading of the S type of Heterobasidion annosum from Norway spruce stumps to the subsequent tree stand. European Journal of Forest Pathology, Vol 26, Issue 4, Pages 193-204.
- Honkaniemi, J., ym. 2014. Hmodel, a Heterobasidion annosum model for even-aged Norway spruce stands. Canadian Journal of Forest Research, Vol. 44, Number 7. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0011>
- Müller, M., ym. 2018. Butt rot incidence in the northernmost distribution area of Heterobasidion in Finland. Forest Ecology and Management 425, 154-163.
- Silver, T. & Piri, T. 2017. Havaintoja tyvitervastaudista turvemaiden männiköissä. Suo 68(1), 1-11. <http://www.suo.fi/pdf/article10110.pdf>
- Venäläinen A., ym. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. Global Change Biology 26, 4178–4196. <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>
- Aalto, J., ym. 2021. High-resolution analysis of observed growing season variability over northern Europe. Climate Dynamics 58. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05970-y>
- Valkonen, S., ym. 2010. Poiminta- ja pienaukkohakkuut – vaihtoehtoja avohakkuulle. Metsäkustannus Oy.
- Gaitnieks, T., ym. 2019. Susceptibility of small-diameter Norway spruce understory stumps to Heterobasidion spore infection. Forests 10, 521. <https://doi.org/10.3390/f10060521>
- Gunulf, A. et al. 2013. Secondary spread of Heterobasidion parviporum from small Norway spruce stumps to adjacent trees. Forest Ecology and Management 287. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.011>
- Asikainen, A., ym. 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240. Metsäntutkimuslaitos. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>
- Piri, T & Hamberg, L. 2015. Persistence and infectivity of Heterobasidion parviporum in Norway spruce root residuals following stump harvesting. Forest Ecology and Management 353: 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.012>