

Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa, Tuula Kantola, Minna Blomqvist ja Maiju Kosunen

Hyönteistuhoriskien hallinta uusilla teknologioilla



Luonnonvarariskien hallinta

Metsien hyönteistuhojen kasvavat riskit

Hyönteisten, sienitautien ja äärevän ilmaston aiheuttamista haitoista metsien terveydentilaan ja metsänomistamisen taloudelliseen kannattavuuteen on uutisoitu yhä vilkkaammin viime vuosina. Suomen taloudellisesta hyvinvoinnista suuri osa tulee etupäässä kuusen ja männyn kasvatuksesta. Näihin puulajeihin kohdistuu nyt merkittäviä metsänterveydellisiä ongelmia. Metsätalouden harjoittamista ja metsäekosysteemin tasapainoa varjostavat lisääntyneet uhkatekijät, mistä syystä tämänhetkiset metsätuhojen seuranta- ja ennustemenetelmät sekä niihin perustuvat toimenpidesuosittukset eivät ole riittäviä.

Lähes kaikkien eurooppalaisten metsien tuhohyönteisten levinneisyysalueet laajenevat yhä nopeammin kohti pohjoista ja samalla hyönteisten merkitys tuhonaiheuttajina kasvaa. Tuhohyönteisten esiintymistiheys, tuhojen kesto ja alueellinen ulottuvuus ovat kohonneet sekä Suomessa ja muissa Euroopan maissa että muillakin mantereilla. Pohjois-Amerikassa vuoristoniluri-kaarnakuoriaisen (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins) tuhoalue ulottuu jo New Mexicosta ja Kaliforniasta Kanadan pohjoisosiin, kattaen pelkästään Kanadassa noin Suomen kokoisensa metsäalueen. Ruotsissa ja keskisen Euroopan maissa kirjanpaina-kaarnakuoriaisen (*Ips typographus* L.) voimakas lisääntyminen on aiheuttanut mittavaa hävitystä ja elävän puuston kuolemaa. Ruotsin eteläosissa hyönteinen on tappanut kuusia yli 3 milj.m³ edestä.

Suomessa kirjanpainaajakannat alkoivat jo kohota vuoden 2006 lämpimän ja kuivan kesän seurauksena,

mutta vasta kesän 2010 helteet ja myrskyt käynnistivät laajan metsien terveyteen vaikuttavan ongelman. Kirjanpainaaja on jo siirtynyt tuulenkaadoilta eläviin pystypuihin Etelä- ja Keski-Suomessa, mikä näkyy kuolleiden ja oireilevien kuusien muodostamina tuholaikeina (kuva 1). Kirjanpainaaja on nopeasti lisääntynyt epidemian tasolle, jollaista ei koskaan ennen ole koettu maassamme. Kirjanpainaajatuhojen taloudellisten menetysten arvoksi ennakoitiin noin 10 milj. € vuodelle 2014.

Vuosina 1998–2001 pilkkumäntypistiäisen (*Diprion pini* L.) joukkoesiintymä levisi lännestä itään yli Suomenselän noin 500 000 ha alueelle. Tuhot kroonistuivat Ilomantsissa, jossa vakavin tuhoalue kattoi noin 10 000–13 000 ha. Voimakkaan neulaskadon ja kiihtyvän puustokuoleman takia alueella on tehty laajoja avohakkuita. Ruskomäntypistiäinen (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) aiheutti poikkeuksellisen mittavia, noin 400 000 ha käsittäviä metsätuhoja Länsi-, Keski- ja Itä-Suomessa vuosien 2007–2009 aikana. Lajin uusin joukkoesiintymä käynnistyi vuonna 2013 ja viime kesänä neulastuhoja havaittiin Länsi-Suomen lisäksi myös Etelä-Savossa ja -Karjalassa. Neulaskato pienentää yhteyttävää pinta-alaa, vähentäen puun kasvua ja metsän taloudellista arvoa. Vuotuiset menetykset kasvutappioiden ja puuston kuolemina ovat keskimäärin ruskomäntypistiäistuhon seurauksena noin 100–150 €/ha ja pilkkumäntypistiäistuhon vuoksi noin 700–1000 €/ha. Molempien lajien viimeiset joukkoesiintymät ovat laajimpia Suomessa koskaan tavattuja neulastuholaisten runsastumisia.

Ilmastomuutoksen myötä riski Suomenlahden



Kuva 1. Kirjanpainajan tappamia ja oireilevia kuusia Ruokolahdella. (Kuva: Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa)

eteläpuolella menestyvien tuholaiden levinneisyysalueiden muutoksille kasvaa. Ongelmia meillä tulevat aiheuttamaan edellisten tuholaiden lisäksi mm. havununna (*Lymantria monacha* L.), mänty-yökkönen (*Panolis flammea* Den. & Schiff.) ja männynversokääriäinen (*Rhyacionia buoliana* Schiffermüller).

Metsien moniongelmat

Suomen ilmasto muuttuu voimakkaasti. Hallitustenvälisen ilmastopaneelin mukaan vuotuinen keskilämpötila voi nousta Suomessa jopa 5–7°C vuoteen 2100 mennessä. Talvet ovat leudompia ja kesäisin esiintyy kuumia ja vähäsateisia kausia. Normaali kylmä talvi tappaa talvehtivien tuhohyönteisten

toukkia tai munia, mutta kohonnut lämpötila pitää yhä suuremman osan hengissä. Kasvukausi Suomessa on jo pidentynyt etenkin keväiden varhaistumisen vuoksi. Kuuma kesä aiheuttaa ongelmia mm. puiden vesitaloudelle. Stressaantunut tai myrskysä vaurioitunut metsä tuulentaatoinen altistuu yhä herkemmin tuhohyönteisille ja muille bioottisille tuhohyönteisille. Tuhohyönteiset lisääntyvät tehokkaammin ja hyönteissukupolvia saattaa kehittyä useampi kuin yksi vuodessa. Useat erityyppiset boreaalisen metsäekosysteemin häiriöt myös kytkeytyvät toisiinsa. Hyönteistuhojen seurauksena syntyy lisää kuollutta, kuivaa puuta. Tämän johdosta myös herkkyys metsäpaloille kasvaa.

Hyönteistuhojen seurannan tarve

Suomessa ja muissakin Euroopan maissa varsinkin bioottisten metsätuhojen seuranta ja kartoitus perustuu yhä etupäässä maastossa tehtäviin havaintoihin, näytteiden keräämiseen ja laboratoriokasvatuksiin. Nämä menetelmät ovat erittäin työvoimavaltaisia, resursseja kuluttavia ja hitaita. Ennusteiden virhemarginaali näitä menetelmiä käytettäessä voi myös muodostua kohtuuttoman suureksi. Valtakunnan metsien inventointi (VMI) tuottaa luotettavaa tilastotietoa koko Suomen metsävaroista, mukaan lukien metsien terveydentila. Keskeisenä ongelmana metsätuhojen sijainnin ja laajuuden kartoittamisessa on, että otantapohjaisessa inventoinnissa metsätuhojen kaltaiset usein lyhytaikaiset ja hajanaisesti esiintyvät ilmiöt jäävät helposti havaitsematta. VMI:n monilähdeinventoinnissa yleistetään maastossa mitattujen koealojen tietoja rasterikartoiksi (rasterin koko 25 m × 25 m) Landsat Thematic Mapper (TM) -satelliittikuvatulkinnan avulla. Keski-resoluution satelliittikuvien tulkintatarkkuus ei kuitenkaan yleensä riitä heterogeenisten metsätuhojen havaitsemiseen. Metsätuhojen seurannan ja inventoinnin tulisi perustua kattavaan, säännöllisesti ja riittävän usein toistuvaan sekä luotettavaan havainnointiin, jossa mittakaava sekä käytetyt menetelmät ovat tarkoituksenmukaisia ja kustannustehokkaita. Inventoinnin pitää myös tuottaa riittävän varhaisessa vaiheessa tietoa mallien ja riskien ennakointia varten, huomioiden alueelliset, ajalliset ja ekonomiset tarpeet. Tämän ns. täsmätiedon täytyisi palvella metsien käsittelyä ja metsänterveyden suunnittelua koskevaa päätöksentekoa.

Metsätuhojen kaukokartoitus

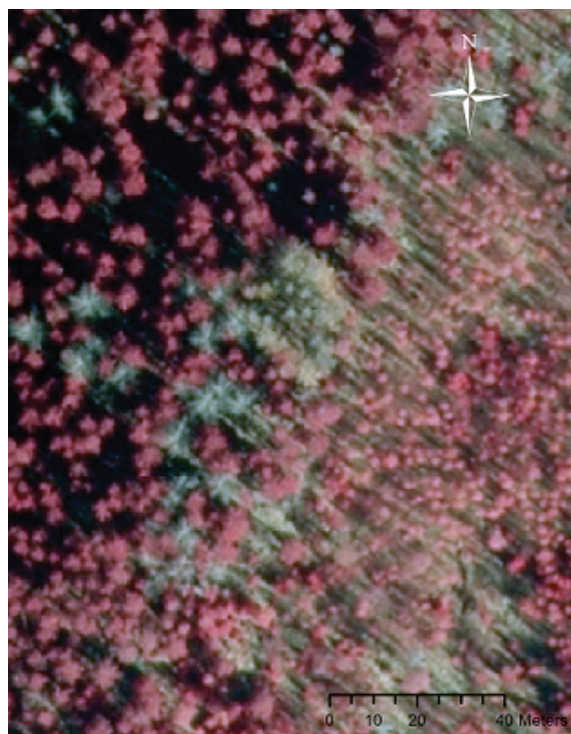
Metsien kaukokartoitus ja paikkatietojärjestelmät (GIS, *Geographic Information System*) kuuluvat nopeasti kehittyvään tutkimusalueeseen, joka tarjoaa moderneja menetelmiä myös tuhojen kartoituksen ja metsänterveyden suunnittelun tarpeisiin. Maastossa on usein vaikeaa tarkkaan havainnoida puustossa esiintyvien oireiden laajuutta, kuten esim. mäntypistiäisten tai perhostuholaisten tekemää neulaskatoa tai nilassa viihtyvien runkotuholaisten aiheuttamaa latvuksen värinmuutosta. Ihmissilmä ei aina kyke-

ne havaitsemaan tärkeitä varhaisoireita. Kaukokartoituksen avulla voidaan tuottaa nopeasti aineistoa paljon laajemmille alueille kuin mitä maastoinventoinneilla olisi mahdollista. Lintuperspektiivistä latvuston yläpuolelta suoritettu oireiden kartoitus minimoi myös useita virheitä, joita maastohavainnoinnissa aiheuttavat mm. vaihtuvien havainnoitsijoiden kokemus ja tarkkuus, maastonmuodot, sää, auringon säteily jne. Kaukokartoitukseen perustuva hyönteistuhojen seuranta ja riskinarviointi voi tuottaa kustannustehokkaasti täsmällistä tietoa metsätuhon alueellisesta levinneisyydestä, tuhoalueiden painopisteiden muutoksista ja tuhojen puustovaikutusten voimakkuudesta.

Eri mittakaavan häiriöille voidaan soveltaa tarkoituksenmukaisia menetelmiä, alkaen metsikkö- ja puustotason tulkinnalle soveltuvasta korkean resoluution ilmakuvatulkinnasta ja päätyen spatiaalisen keski- ja karkean resoluution omaavien satelliittikuvien käyttöön maisematasolla. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa hyönteistuhot tyypillisesti esiintyvät epäsäännöllisesti laikuittain, jolloin metsämaisema rakentuu eri tuhointensiteettiä edustavista laikuista. Laikut eivät noudata aina metsikkökuvien rajoja, sillä metsähyönteisten siirtymistä ja tuhon laajentumista ohjaavat puuston ominaisuuksien ohella myös mm. hyönteisten pedot ja loiset, maaperätekiijät ja alueen topografia. Tämä pirstaleinen tuhomosaikki rajoittaa kaukokartoitusmenetelmän valintaa. Karkeamman resoluution satelliittikuvien erotuskyky ei välttämättä enää riitä erottamaan pienipiirteisten tuholakkujen ja niiden välissä tapahtuneiden metsänhoidollisten toimenpiteiden, kuten hakkuiden välisiä eroja.

Optisia sovellutuksia hyönteisten joukkoesiintymien kartoitukseen

Korkean spatiaalisen resoluution (<5 m) ilma- ja satelliittikuvia on käytetty tarkkuutta vaativiin hyönteistuhojen kartoituksiin, jolloin pystytään yleensä kattamaan vain rajattu alue kerrallaan. Metsätaloudessa ilmakuvista käytetyimpiä ovat digitaaliset väri-infrapunakuvat, jotka tallentavat näkyvän valon ja lähi-infrapuna-alueen säteilyä. Puuston stressitilanteissa lähi-infrapuna-alueen käyttö saattaa antaa hyödyllistä lisätietoa alkavista oireista. Korkean



Kuva 2. Digitaalinen väri-infrapunakuva Lahden kaupungin taajamametsien varttuneesta kuusikosta. Kuvassa näkyy vielä terveitä kuusia (purppuranpunainen väri) ja niiden välissä kuolleita kuusia (vihertävä väri). (Kuva: Maanmittauslaitos)

resoluution aineistoja on onnistuneesti käytetty mm. pilkkumäntypistiäisen ja vuoristonilurin aiheuttamien tuhojen kartoitukseen ja inventointiin. Me olemme käyttäneet digitaalisia väri-infrapunakuvia sekä mäntypistiäisten neulaskadon tason luokitukseen että kirjanpajan aiheuttamien tuholaikkujen kartoittamiseen latvusten värioireiden perusteella (kuva 2).

Spatiaalisen keskiresoluution (5–30 m) kuvia on hyödynnetty runsaasti hyönteistuhojen seurannassa, varsinkin Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Landsat TM satelliittiaineistoja voidaan soveltaa erityisesti metsäluonnon muutoksien seurantaan, jolloin aineistojen laajaa sähkömagneettista spektriä käytetään apuna mm. kuvapiirteiden muodostamisessa. Landsat TM kuvia on onnistuneesti sovellettu mm. vuoristonilurin ja kääriäisperhosten (*Choristoneura pinus* Freeman) tuhojen kartoitukseen. Suomessa

Landsat TM kuvapiirteiden perusteella pystyimme luokittelemaan pilkkumäntypistiäisen aiheuttaman neulaskadon voimakkuutta.

Karkean spatiaalisen resoluution (>30 m) satelliittikuvia, kuten esim. MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) on käytetty onnistuneesti mm. Siperian mäntykehräjän (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetverikov) ja lehtinunnan (*Lymantria dispar* L.) joukkoesiintymien kartoittamiseen. MODIS-aineistoihin perustuvat menetelmät ovat myös antaneet lupaavia tuloksia Suomessa ja Norjassa ruskomäntypistiäisen ja Ruotsissa tunturimittarin (*Epirrita autumnata* Borkhausen) ja hallamittarin (*Operophtera brumata* L.) tuhojen seurannassa. MODIS-aineistojen etu on kahdeksan vuorokauden välein toistuva kuvaus samalta alueelta. Aineiston suurin rajoitus on heikompi erotuskyky (250 m–500 m). Seurannan onnistuminen vaatii laajemman homogeenisen tuhoalueen esiintymisen.

Useiden keski- ja karkean resoluution satelliittiaineistojen etuina ovat koko maapallon kattavuus ja korkea ajallinen toistuvuus. Lisäksi useita pitkien aikasarjojen aineistoja voi nykyisin ladata ilmaiseksi. Aikasarjan perusteella voidaan muodostaa kohdealueen fenologinen profiili ennen hyönteistuhoa ja seurata metsätuhon aiheuttamaa muutosta sen perusteella. Usein tähän tarkoitukseen sovelletaan kasvillisuusindeksejä, kuten esim. NDVI-indeksiä (*Normalized Difference Vegetation Index*). Tämä mahdollistaa myös historiallisten joukkoesiintymien mallinnuksen kuvien kattamalta ajanjaksolta. Tätä menetelmää olemme soveltaneet mm. mäntypistiäisten joukkoesiintymien kartoitukseen Itä-Suomessa.

Laserkeilaus hyönteistuhon aiheuttaman muutoksen tulkinnassa

Laserkeilaus (LiDAR, *Light Detection And Ranging*) on aktiivinen kaukokartoitusmenetelmä, jossa keilain mittaa lähettämäänsä säteilyä lähi-infrapuna-alueen aallonpituuksilla. Laserkeilaimen ja kohteen välinen etäisyys voidaan määrittää pulssin kulkuajan perusteella. Mitattavasta kohdealueesta muodostuu kolmiulotteinen pisteparvi, jossa jokaisella pisteellä on x- y- ja z-koordinaatit. Ilmasta käsin tehtävä lentolaserkeilaus (ALS, *Airborne Laser Scanning*) on käytökelpoinen menetelmä kartoitettaessa puus-

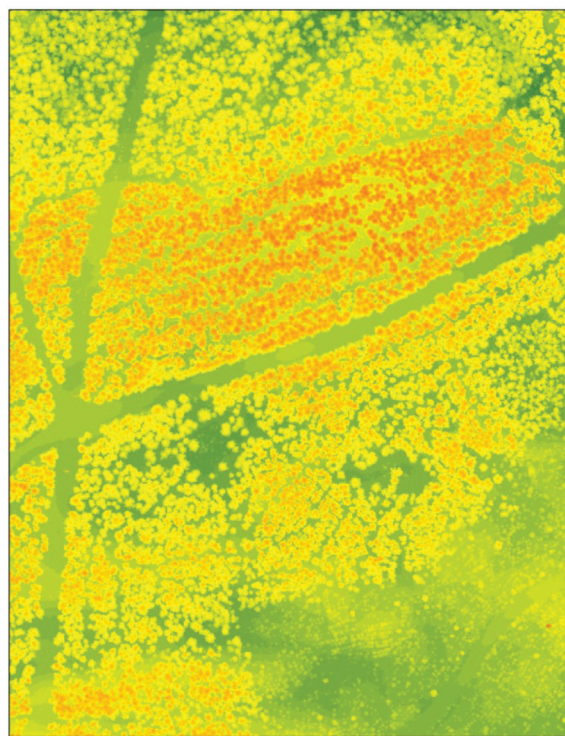
toa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Metsien inventoinnissa ja tutkimuksessa käytetyt pulssitiheydet vaihtelevat 0,5–20 pulssia/m². Korkean pulssitiheyden aineistojen (>2 pulssia/m²) avulla on jopa yksittäisen puun latvuksen mallintaminen mahdollista. Aikasarjat mahdollistavat myös hyönteisten aiheuttaman lehvästökadon tilapäisen muutoksen arvioinnin. Laserkeilausaineistoista voidaan tuottaa mm. karttoja tuhoalueista ja metsänterveyden muutoksista. Näitä karttoja voidaan hyödyntää esim. riskinhallinnassa ja tuholaisten aiheuttaman ajallisen ja alueellisen muutoksen seurannassa.

Tutkimus laserkeilauksen hyödyntämisestä hyönteistuhojen kartoituksessa ja seurannassa on lisääntynyt viime vuosina nopeasti. Aineistoja on hyödynnetty mm. Kanadassa vuoristoniluri-kaarnakuoriaisen tuhojen seurannassa ja Norjassa mäntypistiäistuhojen kartoituksessa. Me olemme mallintaneet pilkkumäntypistiäisen neulaskatoa Ilomantsissa koeala- ja yksittäisen puun tasolla käyttäen laserkeilausta (kuva 3).

Johtopäätös

Suomen ilmastossa on käynnissä muutos globaalin ilmastomuutoksen myötä. Kohoavat vuotuiset keskilämpötilat, kuivat kaudet ja yhä useammin roudattomana aikana tapahtuvat myrskyt edistävät tuhohyönteisten menestymistä boreaalisessa metsäekosysteemissä. Tämä muutos on jo näkynyt laajoina mäntypistiäisten ja kaarnakuoriaisten joukkoesiintyminä. Uhkana ovat myös nykyisin Keski-Euroopassa metsää hävittävät hyönteislajit, joita on yhä runsaammin havaittu myös meillä. Näistä syistä tarvitaan kustannustehokkaita ja tarkkoja hyönteistuhojen seuranta- ja kartoitusmenetelmiä metsätalouden kannattavuuden ylläpitämiseksi ja metsänterveyden ajantasaisen suunnittelun vuoksi. Optiset spatiaalisen korkean- ja keskiresoluution satelliittiaineistot, ilmakuvat, spektrometri- ja laserkeilausaineistot tarjoavat mahdollisuuden modernin seurantajärjestelmän kehittämiseen, joka palvelee metsätalouden suunnittelua ja riskinarviointia.

Hyönteistuhojen kaukokartoitus on huomattavasti vaikeampaa kuin esimerkiksi tuuli- ja lumituhojen kartoitus, koska usein kyse on lehvästötason muutoksista tai kuolleiden puiden ryhmistä. Tästä syystä



Kuva 3. Laserkeilausaineistoista johdettu latvuspintamalli Ilomantsin Palokankaalta. Kuvasta voi erottaa mm. puiden latukset, aukot ja tiet. Eri värit vihreästä keltaiseen ja punaiseen indikoivat korkeutta merenpinnasta. (Kuva: Tuula Kantola)

tarvitaan vielä tutkimusta, jotta tuhojen kartoituksessa voidaan saada riittävän yksityiskohtaista tietoa operatiivisen toiminnan vaatimalla tarkkuudella. Kaukokartoitusmenetelmien avulla rakennettava tuhojen seuranta ja ennustemallien tuottaminen on kuitenkin niin merkittävä tavoite nykyaikaisessa metsävarojen käytön suunnittelussa ja metsiin perustuvassa palvelutoiminnassa, että sen kehittämistä täytyy edelleen jatkaa.

Kirjallisuutta

Eklundh, L., Johansson, T. & Solberg, S. 2009. Mapping insect defoliation in Scots pine with MODIS time-series data. *Remote Sensing of Environment* 113: 1566–1573.

- Kantola, T., Vastaranta, M., Yu, X., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Holopainen, M., Talvitie, M., Kaasalainen, S., Solberg, S. & Hyypä, J. 2010. Classification of defoliated trees using tree-level airborne laser scanning data combined with aerial images. *Remote Sensing* 2: 2665–2679.
- Kantola, T., Vastaranta, M., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Holopainen, M., Kankare, V., Talvitie, M. & Hyypä, J. 2013. Classification accuracy of the needle loss of individual Scots pines from airborne laser point clouds. *Forests* 14(2): 386–403.
- Meigs, G.W., Kennedy, R.E. & Cohen, W.B. 2011. A Landsat time series approach to characterize bark beetle and defoliator impacts on tree mortality and surface fuels in conifer forests. *Remote Sensing of Environment* 115(12): 3707–3718.
- Wulder, M.A., Masek, J.G., Cohen, W.B., Loveland, T.R. & Woodcock, C.E. 2012. Opening the 1 archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment* 122: 2–10.

■ Dosentti, MMT Päivi Lyytikäinen-Saarenmaa,
MMM Tuula Kantola, MMM Minna Blomqvist &
MMM Maiju Kosunen, Helsingin yliopisto, Metsä-
tieteiden laitos
Sähköposti: paivi.lyytikainen-saarenmaa@helsinki.fi