



HANKKEEN LOPPURAPORTTI
31.1.2024

LumiLaser

Laserkeilausavusteinen lumituhojen kartoitus ja
niitä seuraavien hyönteistuhojen tutkimus



Maa- ja metsätalousministeriö
Jord- och skogsbruksministeriet
Ministry of Agriculture and Forestry



Sisällys

1. Hankkeen esittely.....	2
1.1. Perustiedot hankkeesta.....	2
1.2. Hankkeen tavoitteet	4
2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi.....	5
2.1. Menetelmät ja aineisto.....	5
2.1.1. Laserkeilaukseen perustuva lumituhotunnistus.....	5
2.1.2. Lumen murtamien puiden hyönteistuhoriskin arviointi.....	7
2.2. Aikataulu, resurssit, kustannukset ja rahoitus.....	9
2.3. Raportointi, julkaisut ja seuranta	9
2.4. Toteutusvaiheen arviointi	10
3. Tulokset ja niiden arviointi	11
3.1. Tulosten esittely	11
3.2. Tulosten vieminen käytäntöön, tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet.....	14
LumiLaser- hankkeen hyönteisosio. Uutta tietoa tuhoriskeistä	15
LumiLaser- hankkeen kaukokartoitusosio. Uusi kaukokartoitussovellus ja enemmän tietoa tapahtuneista tuhoista	16
Viitteet.....	17

Tämä raportti esittelee Maa- ja Metsätalousministeriön rahoittaman #HiilestäKiinni hankkeen, LumiLaser, taustat, tehdyn tutkimuksen sekä saadut tulokset ja niiden merkityksen käytännön kannalta. Raportin rakenne noudattaa #HiilestäKiinni raportointiohjeita. Raportin kirjoittamiseen osallistuivat Luken tutkijat Markus Melin, Janne Rätty, Tiina Ylioja, Juha Siitonen ja Petteri Packalen. Lisätietoja raportista antaa tarvittaessa

Markus Melin

Tutkija, tutkimuspäällikkö, Luonnonvarakeskus

markus.melin@luke.fi

029 532 2194

1. Hankkeen esittely

1.1. Perustiedot hankkeesta

Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) perusteella lumi on pinta-alalla mitattuna suurin puustotuhoja aiheuttava tekijä Suomessa. VMI:n mukaan noin miljoona hehtaaria puuntuotannon metsämaata on altistunut lumen aiheuttamille puustovaurioille aikavälillä 2012–2014. Lumen aiheuttamien puustotuhojen riskin oletetaan kasvavan tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen edetessä alueilla, joilla on tyypillisesti talviset olosuhteet ja runsaasti lunta (kuva 1). Tämä johtuu siitä, että talvien lämpeneminen voi lisätä sadantaa mikä sopivissa olosuhteissa johtaa lumikuorman kertymiseen puihin.



Kuva 1. Lumen murtama runko Juuassa, yhdellä hankkeen tutkimusalueista, missä lumituhot ovat enemmän sääntö kuin poikkeus. Kuva: Markus Melin / Luke.

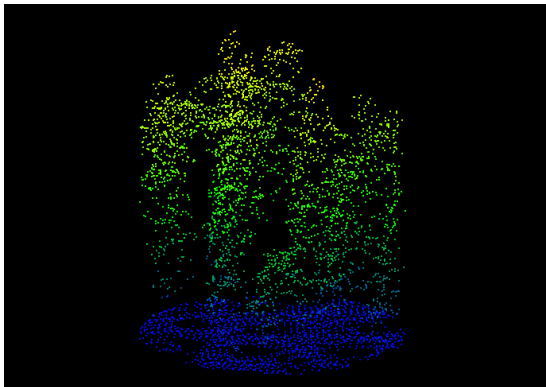
Tällaisia alueita on erityisesti Itä-Suomessa ja Kainuussa. Laajojen lumen aiheuttamien puustotuhojen tunnistaminen metsämaisemasta on tärkeää, koska lumikuorman katkaisemien puiden oletetaan luovan otollisia lisääntymispaikkoja useille kaarnakuoriaislajeille ja lumituhoja on tässä suhteessa pidetty hyönteistuhoriskiä kasvattavana tekijänä.

Kaarnakuoriaistuhoriskin takia laajamittaiset lumituhot johtavat myös metsätuholakiin (Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013, §5) kirjattuun veloitteeseen korjata tuore vahingoittunut puusto metsästä. Kuitenkaan lumituhojen hyönteistuhoriskeistä ei ole ollut saatavilla lähes ollenkaan maastossa kerättyä tutkimustietoa.

Mikäli hyönteistuhoriski on merkittävä, riittävän nopea reagointi laajoihin lumen aiheuttamiin puustotuhoihin ehkäisisi hyönteisten aiheuttamia seurannaistuhvoja, jotka heikentävät puuston

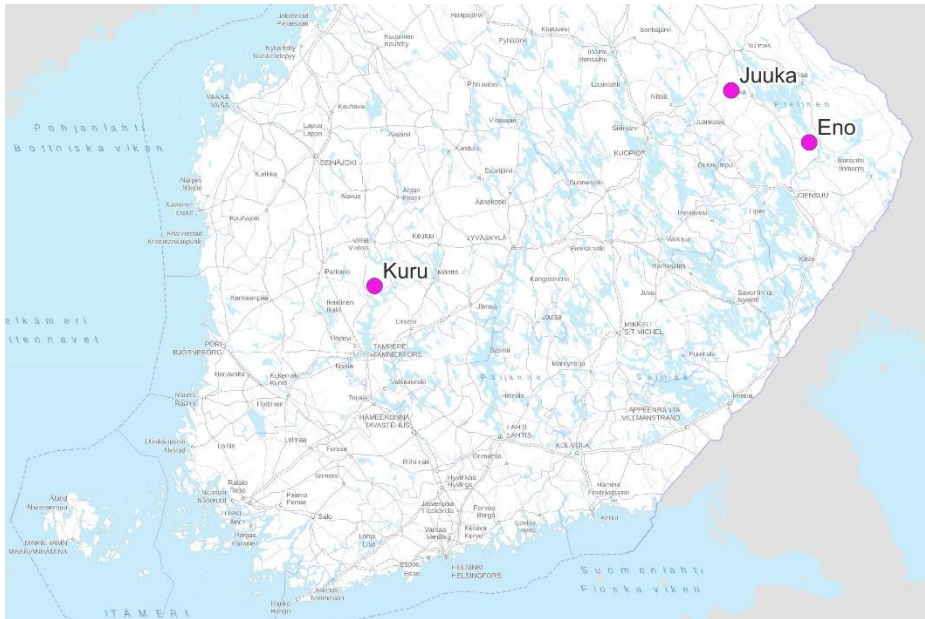
kasvua ja hiilensidontaa. Mikäli riskiä ei taas ole, lumituhot aiheuttavat turhaa työtä maanomistajille ja metsätuholain toteuttamista valvovalle viranomaiselle (Suomen metsäkeskus), ja lisäksi samalla metsästä poistetaan turhaan monimuotoisuudelle arvokasta kuollutta puuta.

Toinen merkittävä tiedonpuute on myös se, että ei ole riittävää käsitystä siitä, missä lumituhoja ylipäättään on tapahtunut. Lumituhojen riskialuetta ovat vaara-alueet, etenkin Itä-Suomessa, mutta myös eteläisemmässä Suomessa, kun korkeus merenpinnasta ylittää 200 metriä. Lisäksi tuhoriskiin vaikuttaa itse metsän rakenne (esim. tiheet, riukuuntuneet puustot altteimpia) ja paikallinen topografia (rinteet, lumen kertyminen tietyn ilmansuunnan rinteisiin ym.). Joka tapauksessa edellytys mahdollisesti tarvittaville toimenpiteille on se, että lumituhot pystytään paikantamaan. Tähän kaukokartoitusmenetelmät tarjoavat uusia mahdollisuuksia. Suomen metsistä kerätään säännöllisesti lentolaserkeilausaineistoa, joka tuottaa metsistä ja niiden rakenteesta yksityiskohtaisen, kolmiulotteisen kuvauksen. Laserkeilausaineiston perusteella on teoriassa mahdollista tunnistaa alueella tapahtuneet suuret lumituhot, sillä lumituhon muuttaa metsien rakennetta niin paljon, että sen voi olettaa näkyvän esimerkiksi laserkeilausaineistosta (**kuva 2**). Suomessa lentolaserkeilausaineistoa kerätään kansallisessa laserkeilausohjelmassa. Aineistoa kerätään kuuden vuoden kierrolla, mikä tarkoittaa, että sama alue laserkeilataan kuuden vuoden välein.



Kuva 2. Laserkeilauspisteistö ympyräkoealalta. Mikäli yllä olevan metsän latvat olisivat lumen takia katkeilleet, sen voisi olettaa olevan tunnistettavissa. Kuva: Janne Rätty / Luke.

LumiLaser-hanke pureutui edellä mainittuihin ongelmiin: tutkimaan lumituhojen aiheuttamaa hyönteistuhoriskiä sekä lumituhon alueiden automaattista tunnistamista laserkeilausaineistosta. Hankkeen mittauksia tehtiin kolmella tutkimusalueella: Juuka, Eno ja Kuru (kuva 4). Enon alue koostui yksityismetsästä, Juukan alue Tornator Oyj:n sekä Metsähallitus Metsätalous Oy:n metsistä ja Kurun alue FinSilva Oy:n metsistä. Jokainen mainittu taho oli antanut hankkeelle tutkimusluvut.



Kuva 3. LumiLaser -hankkeen kolme tutkimusaluetta. Kaukokartoitustyöt toteutettiin Juuan alueella, hyönteistyöt kaikilla kolmella alueella. Taustakartta: Maanmittauslaitos.

1.2. Hankkeen tavoitteet

Hankkeen viralliset, hakemuksessa esitellyt tavoitteet olivat:

- 1) Kehittää edellisinä talvina tapahtuneiden lumituhojen tunnistamista uudesta, tiheäpulsisesta laserkeilausaineistosta
- 2) Tutkia lumituhoja seuraavien hyönteistuhojen riskiä analysoimalla lumen murtamien puiden kovakuoriaislajistoa
- 3) Viedä näiden tutkimuksien tulokset käytäntöön siten, että ne palvelisivat esim. suurten tuhoalueiden parempaa tunnistamista ja seurannaisriskin arviointia

Tavoite 1) perustui oletukselle, että lumituhon aiheuttama rakenteellinen muutos metsässä on niin merkittävä, että se voidaan tunnistaa laserkeilausaineistosta. Lumituhojen tunnistamista on kehitetty aiemmissa pohjoismaisissa tutkimuksissa mm. tutkasatelliittiaineistojen, droonikuvien, ja kahdenaikaisten laserkeilausaineistojen pohjalta. Satelliittiaineistot ovat olleet perinteisesti kiinnostava tietolähde metsäinventoinneissa, koska kyseiset aineistot ovat yleensä vapaasti saatavilla laajoille alueille, ja niiden ajallinen kattavuus mahdollistaa jopa äkillisten muutosten havaitsemisen. Satelliittiaineistojen tarkkuus on kuitenkin usein riittämätön pienialaisten puustotuhojen tunnistamiseen. Dronikuviin perustuva inventointi ei puolestaan sovellu laajojen alueiden puustotuhojen kartoitukseen. Vastaranta ym. (2011) raportoi lupaavia tuloksia lumituhotulkinnasta, joka perustuu kahdenaikaisten laserkeilausaineistojen muutokseen. Suomessa toistuva laserkeilausaineistojen keräys mahdollistaa myös kahdenaikaisten aineistojen hyödyntämisen. Lumituhojen erotteleminen muista metsikkörakenteen muutoksista, kuten muista puustotuhosta ja harvennushakkuista, olisi kuitenkin operationaalisessa sovelluksessa suoraviivaisempaa, jos puustotuhot pystyttäisiin tunnistamaan yhdenaikaisesta laserkeilausaineistosta.

Tavoite 2) laajennettiin hankkeen kuluessa vielä siten, että lumenmurtopuiden tuhoriskin lisäksi selvitettiin myös niiden monimuotoisuushyötyjä. Puista tutkittiin potentiaalisten tuhonaiheuttajien lisäksi myös muu kovakuoriaislajisto. Muun lajiston selvittäminen oli mahdollista toteuttaa lähes samalla työllä, kuin mitä tuhoriskin arvioimiseksi tarvittavan aineiston kerääminen vaati.

Tavoite 3):n tarkoitus oli palvella erityisesti Metsäkeskuksen operatiivista toimintaa metsätuhojen kartoituksissa ja seurannassa, tässä tapauksessa lumituhokohteiden tarkempaa kartoittamista.

2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

2.1. Menetelmät ja aineisto

2.1.1. Laserkeilaukseen perustuva lumituhotunnistus

Lumituhojen tunnistuksessa käytetty tulkintamenetelmä perustui koneoppimisalgoritmiin, joka opetettiin erottamaan lumituhopuut ja -koealat terveistä verrokeistaan tutkimusalueelta kerätyn koeala- ja puuaineiston avulla. Koealoja oli sekä lumen vaurioittamissa että ehjäpuustoisissa metsiköissä. Opetusaineiston lumituhopuina käytettiin vain tarkasti paikannettuja puita, ja suurin osa ehjistä puista saatiin koealoilta, joilla ei ole lainkaan havaittu lainkaan lumen aiheuttamia vaurioita. Lisäksi kesän 2023 mittauksissa paikansimme tarkasti myös ehjiä puita lumituhokoealoilta. Menetelmän kehitystä hankkeessa mitattiin 176 koealaa ja paikannettiin lähes 700 puuta. Lisäksi käytimme Metsäkeskuksen samalta alueelta mittaamia operationaalisen metsäinventoinnin koealoja, jotka on sijoiteltu lumituhottomiin metsiköihin. Ympyräkoalamittaukset on kuvattu tarkemmin **tietolaatikossa 1**.

Tietolaatikko 1. LumiLaser–hankkeen ympyräkoealamittausten menetelmät.

Ympyräkoealamittausten menetelmät

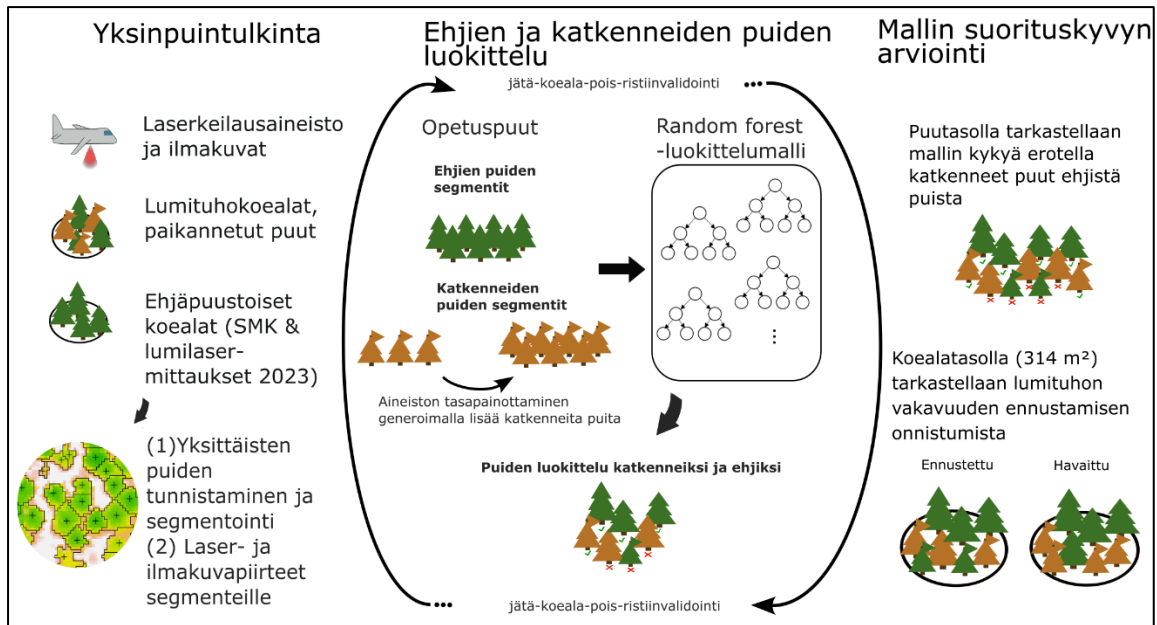
Koealojen valinnassa painotettiin aineiston monipuolisuutta: koealoja tarvittiin sekä luokista "erittäin vähän tuhoutunut" että "täysin tuhoutunut", mutta myös tältä väliltä. Nuoria tai varttuneita taimikoita ei mitattu, kohdemetsiköiden tuli siis olla kehitysluokaltaan vähintään nuorta kasvatusmetsää. Terveen metsän koealoja mitattiin osin itse, ja osin niitä saatiin metsäkeskuksen samalla alueella suorittamista maastomittauksista.

Perustettavat ympyräkoealat olivat säteeltään 10 m. Koealan keskipiste merkattiin koealapaalulla, mikä numeroitiin ja minkä sijainti paikannettiin. Kaikki koealalle osuvat, rinnankorkeusläpimitaltaan yli 45 mm paksut puut kuuluivat mittausten piiriin. Jokaisesta puusta mitattiin rinnankorkeusläpimitta 1.3 metrin korkeudelta käyttäen mittasaksia sekä pituus Vertex-hypsometrilla. Mikäli puu oli katkennut lumen takia, siitä mitattiin katkeamiskohdan korkeus. Lisäksi mikäli katkennut latvaosa oli tunnistettavissa, mitattiin siitä katkeamiskohdan läpimitta mittasaksilla. Koealoja ei perustettu tuulituoalueelle (yksittäisiä, maisemassa olevia tuulenkaatoja lukuun ottamatta). Koealan mahdolliset tuulituhopuut merkittiin erikseen lomakkeelle.

Jokaiselta koealalta paikannettiin tarkasti viiden lumituhopuun koordinaatit (koealojen keskipisteen lisäksi). Tarkasti paikannettavien lumituhopuiden läpimitan oli oltava vähintään 10 cm.

Juuan tutkimusalueelta oli saatavilla kesällä 2022 kerätty Maanmittauslaitoksen laserkeilaus- ja ilmakehävälä-aineisto. Kun maastossa oli mitattu sekä lumituhottomia, että lumituhokoealoja, päästiin opettamaan itse algoritmia tunnistamaan ja erottamaan näitä puita toisistaan.

Menetelmän opetusaineisto laadittiin tunnistamalla ja rajaamalla laserkeilausaineistosta yksittäiset puut maastossa tarkasti paikannetuilta ympyräkoealoilta. Muuttujia, joiden perusteella puu tai koeala ennustettiin lumituhottomaksi tai lumituhoiseksi olivat mm. metsästä saatujen laserkaikujen korkeudet, laserkaikujen intensiteetti, ilmakehävälä-sävyarvot, puun korkeus merenpinnasta ja yksinpuintulkittujen naapuripuiden keskimääräisen pituuden ero tulkittavaan puuhun (yksityiskohtainen menetelmä julkaistaan tutkimusartikkelissa Rätty ym. 2024). Menetelmän toimintaperiaate on havainnollistettu **kuvasa 4**.



Kuva 4. Lumituhopuiden tunnistus laserdatasta: menetelmän kehitys, opetus ja toiminta.

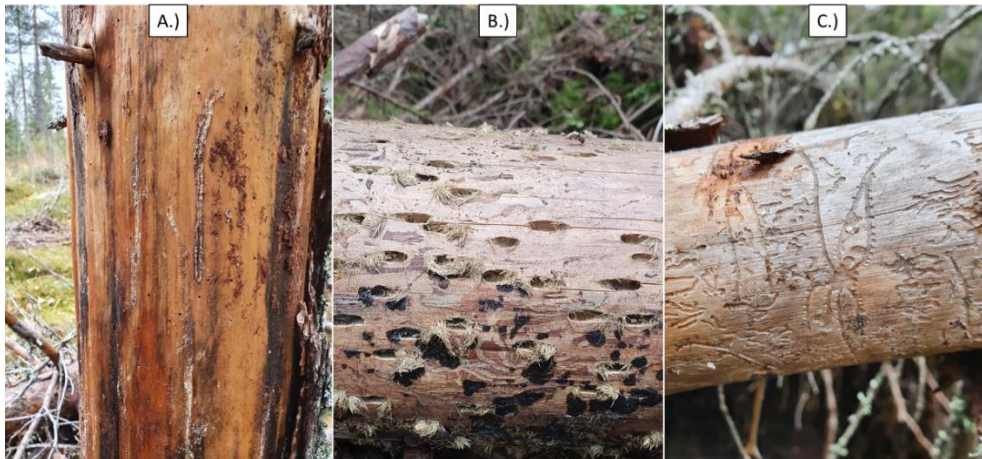
Hankkeen kaukokartoitusosio perustui kokonaisuudessaan Maanmittauslaitoksen keräämään laserkeilausdataan ja ilmakuva-aineistoihin. Lisäksi käytimme Suomen metsäkeskuksen operationaalisen metsäinventoinnin koealoja, jotka ovat avoimesti saatavilla.

2.1.2. Lumen murtamien puiden hyönteistuhoriskin arviointi

Hyönteistuhoriskiä varten tutkittiin ja määritettiin lumen murtamien puiden kovakuoriaislajisto (potentiaaliset tuholaiset, niiden luontaiset viholliset, muut lajit). Tätä tutkimusta tehtiin kaikilla kolmella tutkimusalueella. Samalla maastossa seurattiin (ei systemaattisesti) mikäli lumituhon alueiden terveissä puissa olisi esiintynyt merkittäviä hyönteisten aiheuttamia seuraustuhoja.

Menetelmässä lumen murtaman puun pystyssä oleva tyviosa sekä maahan pudonnut latva tutkittiin. Ne mitattiin ominaisuuksiltaan: pituus, läpimitta, kuolinvuosi, lahoaste. Pituus ja läpimitta mitattiin kuten on kuvattu tietolaatikossa 1, kuolinvuosi (milloin lumituhon tapahtui) arvoitiin perustuen Siitonen ja Pouttu (2014) tekemään luokitukseen sekä rungolla edelleen olleeseen hyönteislajistoon. Kuolleiden puiden lahoaste arvoitiin VMI:n luokitukseen perustuen, ja se on kuvattu mm. Pasanen ym. (2022) raportissa.

Tutkitun puun tyvi kuorittiin aina kahden metrin korkeuteen asti. Katkenneesta latvan tyvestä kuorittiin myös lahden metrin pituinen koeala. Jos latvan tyviläpimitta oli yli 20 cm, kuorittiin tyvelle kahden metrin pituinen koeala sekä toinen koeala alkaen kohdasta, jossa latvan läpimitta oli 10 cm. Jos latvan tyviläpimitta oli yli 30 cm ja, kuorittiin kaksi lisäkoealaa, toinen 20 cm ja toinen 10 cm läpimitasta alkaen. Kuorituista rungosta havainnoitiin ensin hyönteisten syömäjäljet, tunnistettiin ne tehneet lajit sekä arvoitiin näiden syömäjälkien peitto prosentteina (10 % luokat) kuoritun alueen pinta-alaan verrattuna (**kuva 5**).



Kuva 5. A.) Pystynävertäjien (*Tomicus piniperda*) syömäkäytäviä sekä havutikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum*) mustuneita sisäänmenoreikiä lumen murtaman männyn tyvellä. B.) Tummapikirkärsäkkäiden (*Pissodes gyllenhali*) kotelokuoppia sekä (C.) kuusentähtikirjaajien (*Pityogenes chalcographus*) syömäkuvioita lumen murtamien kuusten latvoissa. Kuvat: Markus Melin / Luke.

Rungon kuorimisessa irronneet kaarnapalat kerättiin hyönteisseulaan, jota ravistamalla kaarnasta saatiin edelleen irti siellä piileskelleet hyönteiset, mitkä tunnistettiin myöhemmin laboratoriossa morfologisiin piirteisiin perustuen mikroskoopin avulla. Rungon tutkimisen vaiheet on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Vasemmalta: tyveltään 2 m korkeudelle kuorittu tutkimuspuu, sen kaarnat hyönteisseulassa, seulomalla saadut purut tallennettuna nimettyyn pussiin.

Lopullinen aineisto sisälsi kustakin puusta seuraavat tiedot: puulaji, rinnankorkeusläpimitta, katkeamiskohdan korkeus, latvakappaleen tyviläpimitta, puun lahoaste ja kuolinvuosi, potentiaalisten tuholaisten ja sekundääristen lajien syömäjäljet ja niiden runsaus (arvioituna syömäjälkien peittona) sekä puussa esiintynyt muu kovakuoriaislajisto. Tästä aineistosta tutkittiin kahta pääkysymystä: olivatko tuhohyönteiset kuinka yleisiä lumituhopuissa verrattuna muihin, harmittomimpiin lajeihin sekä mikä oli lumen murtamien puiden lajistollinen monimuotoisuus ylipäätään (kovakuoriaiset). Tulokset tullaan julkaisemaan kahtena erillisenä artikkelina Melin ym. (2024a) ja Melin ym. (2024b).

2.2. Aikataulu, resurssit, kustannukset ja rahoitus

LumiLaser hanke alkoi 1.4.2021 ja päättyi 15.12.2023. Hankkeen kokonaisbudjetti oli 460 000 €, mistä MMM:n rahoittama osuus oli 322 000 €.

Hankkeen kaukokartoitusosiota johti Luken tutkimusprofessori Petteri Packalen, jonka lisäksi työpaketissa työskentelivät Luken postdoc-tutkijat Janne Rätty ja Mikko Kukkonen sekä maastomittauksia tehneet Luken työntekijät Tapio Ylimartimo ja Ville Lumberg sekä kesän 2021 harjoittelijat Werna Wahlman ja Satu Wenno. Kaukokartoitusosion työt alkoivat kesällä 2021 ja kestivät aina hankkeen päättymiseen saakka.

Hyönteisosion toteuttamisesta vastasivat Luken tutkijat Markus Melin, Juha Siitonen ja Tiina Ylioja sekä Luken tutkimusinsinööri Leena Aarnio. Hyönteisosion mittauksia maastossa tekivät myös kesällä 2022 Luken harjoittelijat Wahlman ja Wenno sekä Kaisa Rautio, ja kesällä 2023 Aliisa Vainio ja Elisa Vuorimaa sekä ulkopuoliset harjoittelijat Magdalena Jovanovic sekä Thibaut LeGars (UEF). Hyönteisosion työt alkoivat niin ikään kesällä 2021 ja kestivät aina hankkeen päättymiseen saakka.

Sekä kaukokartoitus- että hyönteisosioiden toteutuksesta vastasi Luonnonvarakeskus. Alun perin hanke oli Luken ja Itä-Suomen yliopiston (UEF) yhteishanke, mutta hankkeen UEF henkilöstön siirryttyä Lukeen, myös projektin vastaava osio siirtyi Lukeen. Alkuperäisestä Luke-UEF kuvion takia hankkeen kaksi osiota toimivat melko itsenäisesti toisistaan, projektipäällikön toimiessa kummassakin osiossa.

2.3. Raportointi, julkaisut ja seuranta

Hankkeen päätulokset tullaan julkaisemaan kolmena tieteellisenä, vertaisarvioituna ja kansainvälisenä julkaisuna (työotsikot):

Rätty J, Kukkonen M, Melin M and Packalen P. 2024. Detection of forest disturbances caused by snow in boreal forests using unitemporal airborne lidar data and aerial images.

Melin, M ym. 2024a. Assessing the consequential risk of bark beetle damages caused by snow damages in boreal forests based on field data and NFI data.

Melin, M ym. 2024b. Beetle diversity of snow-damaged coniferous trees in managed Boreal forests: views on conservation and biodiversity management.

Julkaisut pyritään saattamaan valmiiksi talven ja kevään 2024 aikana siten, että niiden julkaisu tapahtuu vielä vuoden 2024 aikana. Tutkimusartikkelit tullaan julkaisemaan avoimesti (gold open access) ja niiden yhteydessä julkaistaan myös tutkimusaineisto, joihin tutkimukset perustuivat.

Hankkeen tuloksista on lisäksi pidetty kolme tieteellistä esitelmää kansainvälisissä konferensseissa, ja yksi tullaan pitämään vielä kesällä 2024 (**taulukko 1**)

Taulukko 1. LumiLaser hankkeen tuloksien esittely kansainvälisissä tieteellisissä konferensseissa.

Otsikko	Julkaisufoorumi
Detection of forest disturbances caused by snow using airborne lidar data and aerial images	SilviLaser 2023 konferenssi Englannissa, Janne Rädyn suullinen esitys
Analysis of bark beetle communities in snow-damaged trees - Are snow damages catalysts for insect damage or merely providing valuable dead wood?	IBFRA 2023 (International Boreal Forest Research Association) konferenssi Helsingissä, Markus Melinin suullinen esitys
Tales from the dead wood - Beetle diversity of snow-damaged trees in managed forests	EcoForest konferenssi Norjassa, Markus Melinin suullinen esitys
Climate change and extreme weather events are challenging the health of boreal forests – and some will learn it the hard way	IUFRO World Congress Ruotsissa, Markus Melinin suullinen esitys

Hankkeen maastoaineistoista valmistui myös yksi opinnäytetyö (MMK, Müller 2023) Itä-Suomen yliopiston Metsätieteiden osastolta, ja mahdollisesti toinen (MMM) myöhemmin samalta laitokselta.

Hankkeen tuloksista on viestitty myös osana lukuisia seminaariesityksiä ja luentoja mm. seuraavien tahojen järjestämissä webinaareissa: Luke, Metsänhoitoyhdistykset, Metsäkeskus, Pohjois-Karjalan AMK, Kaakkois-Suomen AMK, Itä-Suomen yliopisto, Helsingin yliopisto, MTK, WWF, Tapio sekä Metsäteollisuus ry.

Myös lehtiartikkeleita on julkaistu kotimaan kielellä mm. [Metsälehdessä](#), [Maaseudun Tulevaisuudessa](#) sekä [Aarre-julkaisussa](#) ja hankkeen tuloksista tehdyillä twitter(X)- viesteillä on ollut lähes 100 000 näyttökertaa (@MarkusMelin1, @YliOjan, @LukeFinland -tileiltä).

2.4. Toteutusvaiheen arviointi

Hankkeen toteutus onnistui maastotöiden ja suunniteltujen tutkimusten osalta hyvin. Aineistojen tai koalueiden saamisessa ei ollut ongelmia eikä menetelmiä tai aikatauluja tarvinnut sen vuoksi muuttaa. Avainasemassa oli ajoissa aloitettu suunnittelu ja joustavuus esimerkiksi maastotöiden aikatauluttamisessa.

Toteutusvaihe jäi kesken kaukokartoitusosion tulosten käytäntöön viennin osalta. Tätä osiota oli suunniteltu toteutettavan yhteistyössä Metsäkeskuksen ja Luken välillä, mutta asian edistämistä ei tapahtunut hankkeen puitteissa. Syinä tähän olivat henkilövaihdokset ja niistä aiheutuneet tietokatkokset organisaatioiden sisällä, mutta ennen kaikkea työkiireet). Tämä ongelma olisi voitu välttää yleisesti töiden paremmalla suunnittelulla siten, että hankkeen johtamiselle ja sen etenemisen välitarkastuksille olisi ollut paremmin aikaa. Jatkossa vastaavien hankkeiden toteuttamisessa kannattaisikin kiinnittää huomioita säännöllisempiin välitarkastuksiin siitä missä töiden ja tavoitteiden osalta mennään: mitä on tekemättä, onko kaikki varmasti huomioitu, riittääkö aika ym.

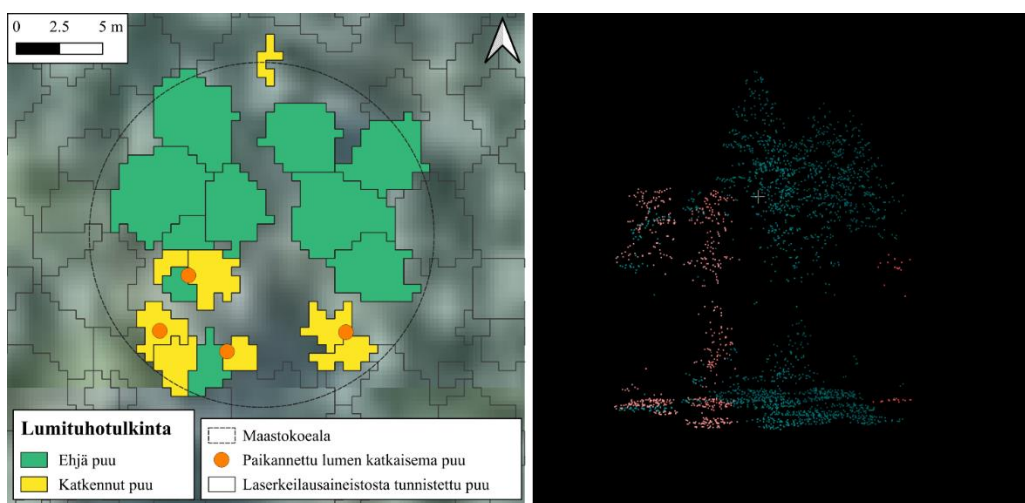
Tutkimusryhmän ulkopuolella hankkeen etenemistä seurattiin ohjausryhmän kokouksin, joita järjestettiin kolme kappaletta. Ohjausryhmän toiminnassa ei ollut ongelmia.

3. Tulokset ja niiden arviointi

3.1. Tulosten esittely

Lumituhojen tunnistaminen laserkeilausdatasta.

Puuston runkolukua ja pituushajontaa kuvaavat naapurustoselittäjät osoittautuivat tärkeämmäksi kuin perinteiset laserpisteistä lasketut korkeus tai -intensiteettiselittäjät. Maastoaineistoa kerätessä havaitsimme, että lumituhoja löytyi usein metsäkoneurien reunoilta. Tästä saimme idean hyödyntää luokiteltavan puun naapurustoa kuvaavia selittäjiä. Esimerkkejä selitysvomaisista tunnuksista ovat yksinpuintulkittujen puiden lukumäärä luokiteltavan puun ympärillä (säde 10 m) ja luokiteltavan puun pituus suhteessa naapuripuiden pituuteen. **Kuva 7** esittää lumituhotulkintaa varttuneessa männikössä.



Kuva 7. Lumen aiheuttamien puustotuhojen tunnistaminen puutasolla. Oikeanpuoleinen kuva esittää vasemman kuvan koelalle leikattua laserkeilausaineistoa (idästä katsottuna), jossa lumen vaurioittamiin puihin liitetyt pisteet on piirretty punaisella.

Puutason luokittelussa malli onnistui luokittelemaan katkenneet ja ehjät puut hyvällä tarkkuudella. Tämän kuvaamiseen ja arviointiin käytettiin kolme arvoa: F1, Recall ja Precision. *Recall*, "herkkyys", kuvaa mallin kykyä tunnistaa lumituhokohteita, mutta se ei huomioi virheellisesti lumituhoksi tulkittuja kohteita. Herkkyyden ollessa 1 kaikki lumituhokohteet on löydetty aineistosta, mutta väärä lumituhotulkintoja terveissä metsiköissä on oletettavasti myös tehty. *Precision*, "täsmällisyys", Täsmällisyys puolestaan kuvastaa, että kuinka suuri osuus ennustetuista lumituhokohteista on oikeasti lumituhokohteita. Toisin sanoen, täsmällisyys täydentää herkkyyttä tarkastelemalla myös virheellisesti lumituhoksi tunnistetut ehjät kohteet. *F1-arvo* on herkkyyden ja täsmällisyyden harmoninen keskiarvo. F1-arvon ollessa 1 luokittelu on onnistunut täydellisesti. F-arvo voi olla pienimmillään nolla, jolloin joko herkkyys tai täsmällisyys on nolla.

Ristiinvalidoinnissa lopullinen malli tuotti F1-arvon 0.68 (Precision: 0.68, Recall: 0.65). Ilman korkeus merenpinnasta -selittäjiä luokitus onnistui huonommin F1-arvon ollessa 0.61.

Tuloksia laskettiin myös koealatasolle yksinpuintulkittujen ja luokiteltujen puiden perusteella. Koealatason tarkastelu on erityisen kiinnostavaa operationaalisesta näkökulmasta, jossa puustotulkintaa esitetään usein solutasolla. Koealatasolla malli aliarvioi lumen katkaisemien puiden lukumäärää, mikä tarkoittaa sitä, että kaikkia katkenneita puita ei pystytä tunnistamaan. Erityisen vaikeita tapauksia yksinpuintulkinnalle ovat männyt, joiden latvus on pudonnut lähes kokonaan. Katkenneiden puiden lukumäärää koealalla aliarvioitiin 25–58 runkoa per ha (15%–35%) riippuen yksinpuintulkinnan parametreista. Koealatasolla tarkasteltuna vakavat lumituhot kuitenkin löydettiin erittäin hyvin. Lumituhokoealoista, joiden puista vähintään 20% olivat katkenneita puita, tunnistettiin tuhokoealoiksi 98%.

Tutkimusprojektin alkuvaiheessa kokeilimme myös aluepohjaista lumituhotulkintaa, jossa luokittelumalli sovitettiin käyttäen koealatason lumituhotietoa ja laseraineistoa. Aluepohjaisen lumituhotulkinnan heikkous on se, että yksittäisiä katkenneita latvuksia ei voida erottaa kunnolla koealatasolle lasketuista yhdenaikaisesta pisteistöstä lasketuista pistepilvipiirteistä. Yksinpuintulkinta mahdollistaa yksityiskohtaisemman tuhotulkinnan kuin aluepohjainen menetelmä. Yksinpuintulkinnan tunnetut heikkoudet alemman latvuserroksen puiden tunnistamisessa eivät ole suuri ongelma lumituhotulkinnassa, jossa kiinnostuksen kohteena ovat yleensä metsän ylimmän latvuserroksen puut.

Lumituhojen aiheuttama hyönteistuhoriski.

Lumen murtamissa puissa esiintyi kaarnakuoriaislajeja, joita pidetään ns. primäärituholaisina eli lajeina, jotka voivat tappaa heikentyneitä puita. Männyllä näitä olivat pystynävertäjä (*Tomicus piniperda*), kuusella taasen kirjanpainaja, kuusentähtikirjaaja (*Pityogenes chalcographus*), kuusijäärät (*Tetropium* spp.) sekä aitomonikirjaaja (*Polygraphus poligraphus*). Kuusentähtikirjaaja lisääntyi usein myös männyn lumenmurtolatvuksissa. Lajeista ainoastaan kuusentähtikirjaaja esiintyi runsaana useilla kohteilla, kun taas muut lajit eivät olleet lumenmurtopuiden valtalajeja tai esiintyivät puissa vain yksittäin.

Lumenmurtoja tutkittiin kolmella päätutkimusalueella (**kuva 3**), yhteensä kymmenillä eri kuvioilla. Mukana oli niin kuusi- kuin mäntyvaltaisia alueita, sekä kuusi-mänty sekametsiä. Millään tutkituista kuvioista ei maastotöiden ohessa havaittu merkittäviä seuraustuhoja, ts. tapahtuneet lumituhot eivät olleet johtaneet selvästi näkyviin seuraustuhoihin samalla kuviolla. Tämä kartoitus ei ollut kuitenkaan systemaattinen vaan perustui havainnointiin muun maastotyön ohessa.

Saatujen tulosten perusteella lumen murtamat puut eivät näytä aiheuttavan merkittävää hyönteistuhoriskiä. Kuitenkin poikkeuksia tiedetään olevan. Hankkeen koealueet ovat talousmetsiä, joten hakkeen tulokset eivät päde esimerkiksi puistometsissä, kaupunkimetsissä tai suojelualueilla. Näistä, talousmetsäkäytön ulkopuolilla olevista alueista, on tiedossa tapauksia missä lumituhot ovat todennäköisesti toimineet yhtenä osavaikuttajana hyönteistuhoilille (esim. Kolin kansallispuisto, Jyväskylän alueen kaupunkimetsät, Tahkovooren alueen metsät).

Hankkeessa ilmiötä katsottiin myös valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) aineistoista. Tässä etsimme kuvioita, missä lumi oli ollut kuvion päätuho, ja tarkastelimme, oliko näillä kuvioilla havaittu kaarnakuoriaisten aiheuttamia tuhoja lumituhoa seuraavien vuosien aikana. Tämä tarkastelu tehtiin Etelä-Suomen metsille eikä sen perusteella havaittu syy-seuraus suhdetta missä koealan tai kuvion lumituhot olisivat johtaneet seuraavina vuosina hyönteistuhoihin samalla alueella.

Tuloksia selittänee suurilta osin se, että lumenmurrot sijaitsivat keskimäärin kohteilla, missä esimerkiksi kirjanpainaja ei muutenkaan viihdy. Tuulenkaatojen tiedetään voivan toimia alkuunpanijana kirjanpainajatuhoille, mutta ne osuvat usein hakkuuaukkojen reunoille, missä lämpöolot ovat kirjanpainajalle ihanteelliset. Pystymetsän keskellä tapahtuva lumenmurto on useimmiten varjoisassa ja viileässä ympäristössä, ja näin ollen lumen murtamia puita käytti joukko muita hyönteisiä kirjanpainajan sijaan.

Tehty aineiston keräys antoi myös näkökulmia kaarnakuoriaisten, kuten kirjanpainajan, luontaisten vihollisten lisääntymisestä lumen murtamissa rungoissa. Näitä lajeja tavattiin (esim. muurahaiskuoriainen, soukkahukka) pääosin 1–2 vuotta sitten kuolleista lumen murtamista puista. Tämä tuo tukea sille miksi lumen murtamat puut – ja kuollut puu yleensäkin – kannattaa jättää metsään: kirjanpainaja on jo näistä puista poistunut, mutta sen sijaan niissä elää muita, harmittomia lajeja ja myös hyödyllisiä, kirjanpainajiakin saalistavia petokuoriaisia (**kuva 8**).



Kuva 8. Lumenmurtamissa puissa havaittuja yleisiä petokuoriaisia. Vasemmalta: aikuinen muurahaiskuoriainen (*Thanasimus formicarius*) ja sen toukkia (sininen ja punainen), sekä aikuinen hukkakartukas (*Nudobius lentus*).

Tarkat tulokset lumen murtamien puiden tuhoriskistä tullaan julkaisemaan artikkelissa Melin ym. 2024a.

Lumituhojen tuoman kuolleen puun monimuotoisuushyödyt.

Tuhooriskin ohella hankkeessa kerätty aineisto tuotti myös tietoa lumen murtamien puiden monimuotoisuushyödyistä. Selvitimme hankkeessa näitä puita käyttävien kaarnakuoriaisten ja muiden lahoppuukovakuoriaisten monimuotoisuutta. Tutkimistamme lumen murtamista puista tunnistettiin yli 150 eri kovakuoriaislajia, osa näistä vanhan metsän indikaattorilajeja. Tällaisia vaateliaampia lajeja edustivat mm. isopehkiäinen (*Peltis grossa*), juovahukka (*Corticues*

suturalis), kuusenlaakavilistäjä (*Cyphea latiuscula*), närekätkä (*Lasconotus jelskii*) sekä kuoripimikkä (*Bius thoracicus*). Nämä tulokset antavat tukea luonnonhoidon tavoitteille: kun lahoppuresurssi ja lahoppuujatkumo syntyy, myös monimuotoisuushyötyjä alkaa näkymään. Arvokkaimpia lajeja havaittiin erityisesti talousmetsissä, joissa aktiivista metsätaloutta ei ollut harrastettu vuosikymmeniin, eli missä melko säännölliset lumituhot olivat muodostaneet monipuolisen lahoppuujatkumon. Kuitenkin myös kohteilla, missä talouskäyttö oli ollut aktiivista, lumen murtamia puuta käytti laaja joukko muita hyönteisiä (**kuva 9**).



Kuva 9. Lumenmurtamissa puissa havaittuja harvinaisempien ja vaateliaimpien lajien syömäjälkiä. Vasemmalta: aaltojäärä (*Semanotus undatus*), harmojäärä (*Callidium coreaceum*) ja suomuniluri (*Xylechinus pilosus*).

Tarkemmat tulokset lumen murtamien puiden kovakuoriaislajistosta, monimuotoisuushyödyistä, sekä näkökulmia talousmetsien luonnonhoitoon tullaan julkaisemaan julkaisussa Melin ym. 2024b.

3.2. Tulosten vieminen käytäntöön, tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet

Kuten hankkeen tutkimus, myös sen tulosten käytännön sovellukset voidaan jakaa hyönteis- ja kaukokartoitusosioiden mukaan. Hyönteisosio toi uutta tietoa lumituhon aiheuttamasta seuraustuhoriskistä, millä on selvät linkit metsänhoidon suosituksiin sekä lakiin metsätuhojen torjunnasta. Kaukokartoitusosio taas kehitti uuden, käytäntöön vietävän menetelmän jo olemassa olevalle laserkeilausaineistolle tuoden sille lisäarvoa. Tämä menetelmä auttaa jatkossa tuottamaan tarkempaa tietoa tapahtuneiden lumituhojen määrästä sekä siitä, millaisissa ympäristöissä niitä tapahtuu. Tulevaisuudessa tämä menetelmä täydentää mm. tietoja, jota nyt saadaan VMI:ssä ja Metsäkeskuksen vastaanottamilla

metsänkäyttöilmoituksilla, jos lumituhon vuoksi on päädytty hakkuutoimenpiteisiin. Seuraavassa näitä näkökulmia käydään tarkemmin läpi.

LumiLaser- hankkeen hyönteisosio. Uutta tietoa tuhoriskeistä

Saadut tulokset korostivat 1) lahopuun roolia monimuotoisuuden kannalta 2) ja etteivät lumituhot pääasiassa aiheuta merkittävää seuraustuhon riskiä. Tulosten nojalla yksittäisiä lumen murtamia puita tai edes puuryhmiä ei tuhoriskin näkökulmasta ole kannattavaa poistaa metsästä. Metsätuholaki vaatii tällaisten tuoreiden lumituhopuiden poistamisen, jos niitä on kuusen osalta enemmän kuin 10 m³/ha tai männyn osalta 20 m³/ha. Jo lainkin puitteissa yksittäisten puiden poistaminen ei ole tarpeellista. Lumituhojen kohdalla asiasta ei kuitenkaan ollut ajantasaista tutkimustietoa ennen tätä hanketta. Metsätuholain muutoksen 1168/2021 yhteydessä lievennettiin vaatimusta mäntypinojen poiskuljetukselle ja tilavuudeltaan alle 50 m³ mäntypinot vapautettiin poiskuljetukselta. Aiempi 20 m³ raja vahingoittuneelle puulle ja rungonosille jäi kuitenkin voimaan, ja sen ylittävä määrä on poistettava metsiköstä. Nämä ovat hajallaan metsikössä hyönteisten käytettävissä, kun taas pinon sisäosat eivät ole hyönteisille alttiita. Lumituhojen vähäinen merkitys männyllä seurantatuhojen aiheuttajana puoltaa sitä, että myös vahingoittuneen mäntypuun tai rungonosien osalta 20 m³ rajaa voisi tarkastella kriittisesti. Samoin kuusella lumituhot ovat erilainen tuhonaiheuttaja seurannaisriskin kannalta kuin tuulituhot: lumituhopuut ovat tyypillisesti hajallaan eri puolilla metsää eivätkä muodosta tuulenkaatoryhmään verrattavaa tuhoriskiä, jonka lisäksi jo aiemmin mainitut lämpöolot ovat lumituhometsiköissä erilaiset hakkuuaukon reunaan verrattuna (mikä lienee johtanut kirjanpainajan verrattain vähäiseen lumituhopuiden käyttämiseen)

Tulokset antoivat myös suoraa tukea luonnonhoidon tavoitteille, sillä ne osoittivat kuinka pitkäaikainen lahopuujatkumo - tässä tapauksessa toistuvien lumituhojen synnyttämä sellainen - luo monimuotoisuutta ja voi tuoda paikalle myös vaateliaimpia lajeja. Lisäksi metsätaloudelle korostui näkökulma kaarnakuoriaisten luontaisten vihollisten kannoista: mikäli metsänomistaja poistaa juuri kuolleen lumituhopuun, hän ei vähennä tuhohyönteiskantoja, sillä ne ovat jo puun jättäneet. Sen sijaan hän todennäköisemmin vie metsästä pois kaarnakuoriaisia saalistavia petoja. Hankkeen tuloksissa petokuoriaisia havaittiin useimmiten 1–2 vuotta sitten kuolleissa puissa. Tältäkin osin tulokset korostivat sitä, että jo kuolleen puun pois vieminen ei ole perusteltua eikä kannattavaa toimintaa: se ei vähennä tuhoriskiä, mutta vähentää monimuotoisuutta ja mahdollisesti myös tuhohyönteisten saalistajia.

Tarkat tulokset siitä kuinka ylläkuvatut ilmiöt käyttäytyivät puulajin ja esimerkiksi puun läpimitan mukaan tullaan julkaisemaan tutkimusartikkeleissa. Tuloksista on jo kerrottu useissa tilaisuuksissa, mutta ne tullaan ottamaan esille myös seuraavilla metsänhoidonsuosittelun päivityskierroksilla, mikäli lausuntoja asiasta pyydetään.

LumiLaser- hankkeen kaukokartoitusosio. Uusi kaukokartoitussovellus ja enemmän tietoa tapahtuneista tuhoista

Kehitimme lumituhotulkintaa Juussa sijaitsevalla Metsäkeskuksen operationaalisen puustotulkinnan alueella. Menetelmä perustuu samoihin kaukokartoitusaineistoihin kuin Metsäkeskuksen puustotulkinta (metsään.fi). Hyödynsimme myös Metsäkeskuksen koealaineistoa itse mittaamiemme 176 lumituhokoealan lisäksi. Tulokset osoittivat, että vakavasti lumen vaurioittamat metsiköt voidaan tunnistaa yhdenaikaisesta laserkeilausaineistosta hyvällä tarkkuudella, vaikka katkenneiden puiden lukumäärää aliarvioitiinkin koealatasolla. Systemaattisen runkoluvun ennustevirheen vuoksi menetelmä ei sovellu aluetason tilastolliseen päättelyyn, vaan hankkeessa kehitetyn lumituhotulkinnan tarkoituksena olisi tuottaa karttatietoa operatiivisen metsätalouden suunnittelun tarpeisiin. Esimerkkinä mainittakoon, että lumituhokartat soveltuvat mainiosti esimerkiksi aputiedoksi maastotarkastusten suunnitteluun. Menetelmä perustuu yhdenaikaiseen laserkeilausaineistoon ja yksinpuintulkintaan, mikä on mahdollista suorittaa kuuden vuoden välein samalla alueella kansallisen laserkeilausohjelman puitteissa. Lumituhoja havaitaan usein samoilla alueilla, joten useamman vuoden vanhasta lumituhotulkintatiedostakin voi olla hyötyä.

Puutason lumituhotulkinnan operationaalisessa toteutuksessa oleellisia huomioitavia tekijöitä ovat (1) yksinpuintulkinnan parametrisointi siten, että sekä ehjät että tuhopuut löydetään, ja (2) relevanttien selittäjien hakeminen suuresta joukosta selittäjäkandidaatteja. Operationaalisessa kehityksessä on oleellista kiinnittää huomiota mallin siirrettävyyteen, jota tulisikin testata toisella tutkimusalueella. Esimerkiksi korkeus merenpinnasta -selittäjään täytyy kiinnittää huomiota, jos luokitusmallin opetusaineisto ei ole kattava etelä-pohjoisakselilla. Lumituhoriskin todennäköisyys vaikkapa 300 metrin korkeudessa on oletettavasti erilainen Pohjois-Suomessa ja Etelä-Suomessa. Laajemman maantieteellisen alueen kattavassa opetusaineistossa voisi hyödyntää lisäksi Ilmatieteenlaitoksen lumikuormamallia.

Hankkeessa kehitetty luokittelumalli edellyttää puutason opetusaineistoja eli maastossa täytyy paikantaa yksittäisiä puita, myös tuhopuita. Operationaalisen sovelluksen kannalta voisi olla mielekästä tutkia alue- ja puutason tulkinnan yhdistämistä siten, että yksittäisien puiden paikantamiselta vältyttäisiin. Jatkossa kahdenaikaisten laserkeilausaineistojen hyödyntämistä lumituhotulkinnassa kannattaisi myös selvittää, koska tämä on puutasolla mahdollista toteuttaa seuraavan keilausohjelman alkaessa 2026.

Viitteet

Tutkimusviitteet

Müller E. 2023. Lumituhometsiköt Pohjois-Savon, Pohjois-Karjalan ja Kainuun alueilla. Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto, Metsätieteen kandidaatin tutkielma. 31 sivua.

Siitonen J., Pouttu A. (2014). Kirjanpainajatuhot Rörstrandin vanhojen metsien suojelualueella sekä ympäröivissä talousmetsissä Sipoossa. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2014 numero 3 artikkeli 5810. <https://doi.org/10.14214/ma.5810>

Pasanen H, Siitonen J, Yläne M, Saaristo L. 2022. Selvitys lahoppuuston yhtenäisestä arviointimenetelmästä metsäalan toimijoita varten. Tapion raportteja nro 49. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2022/04/Selvitys-lahoppuun-arviointimenetelmasta.pdf>

Vastaranta M, Korpela I, Uotila A, Hovi A, & Holopainen M. 2011. Mapping of snow-damaged trees based on bitemporal airborne LiDAR data. European Journal of Forest Research, 131(4), 1217-1228. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0593-2>

Säädökset

Laki metsätuhojen torjunnasta (1087/2013). <https://finlex.fi/fi/laki/smur/2013/20131087>