



Kansallinen kaukokartoitus ja metsien digitaalinen kaksonen (MetsäKaksonen) Hankkeen loppuraportti 10/2025

Juho Heikkilä, Suomen metsäkeskus

Juha Kareinen, Maanmittauslaitos

Roope Ruotsalainen, Metsähallitus Metsätalous Oy



Funded by
the European Union

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	2
1 Hankkeen esittely	3
1.1 Perustiedot hankkeesta.....	3
1.2 Hankkeen tavoitteet	3
1.3 Yhteenveto hankkeesta.....	6
2 Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi	12
2.1 Menetelmät ja aineisto	12
2.1.1 Kaukokartoituksen valmistelu.....	12
2.1.2 Maastotöiden valmistelu.....	14
2.1.3 Puustotulkinnan ja laskentojen suunnittelu.....	15
2.2 Aikataulu ja resurssit.....	19
2.3 Kustannukset ja rahoitus.....	20
2.4 Raportointi, julkaisut ja seuranta.....	21
2.5 Toteutusvaiheen arviointi.....	22
2.5.1 Laserkeilaus ja ilmakuvaukset.....	22
2.5.2 Maastotyöt.....	24
2.5.3 Puustotulkintojen ja laskentojen kehittäminen	27
2.6 DNSH-kriteerien toteutuminen	28
3 Tulokset ja niiden arviointi.....	28
3.1 Tulosten esittely.....	28
3.1.1 Kaukokartoitusspeksien määrittely	30
3.1.2 Puustotulkinta.....	32
3.1.3 Erillistulkinnat.....	38
3.1.4 Laskentojen kehittäminen	46
3.1.5 Hiilitesti.....	49
3.2 Tulosten vieminen käytäntöön	49
3.2.1 KALLIO2-ohjelma	49
3.2.2 Uudet tulkinnat ja tuotteet.....	56
3.2.3 Uuden metsävaratiedon kilpailutus ja järjestelmäkehitys	58
3.3 Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet.....	58
Liitedokumentit: Afry 3 kpl ja Field 8 kpl	

1 Hankkeen esittely

1.1 Perustiedot hankkeesta

Kansallinen kaukokartoitus ja metsien digitaalinen kaksonen (MetsäKaksonen) hanke toteutettiin 1.3.2023 – 31.10.2025 yhteistyössä Suomen Metsäkeskuksen (SMK), Maanmittauslaitoksen (MML) ja Metsähallitus Metsätalous Oy:n (MhMtOy) kanssa. Hankkeen laserkeilauksen ja ilmakuvauksen konsultteja olivat BSF Swissphoto AG ja MGGP Aero Sp. z o. o. Puustotulkinnan ja metsälaskentojen kehittämistä hankittiin AFRY Management Consulting Oy:ltä ja Field Finland Oy:ltä.

Ohjausryhmään, joka piti kokouksen kaksi kertaa vuodessa, osallistuivat hankeosapuolten lisäksi Maa- ja metsätalousministeriö (MMM), UPM Metsä, Metsä Group, Stora Enso, MML:n Paikkatietokeskus (FGI), Luonnonvarakeskus (Luke), VTT, Metsähallituksen Luontopalvelut, Puolustusvoimat (PV) sekä viimeisenä vuonna myös Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto (MTK). Myös puustotulkitsijat esittelivät tuloksia kahdessa ohjausryhmän kokouksessa 2024-25.

1.2 Hankkeen tavoitteet

Hankesuunnitelman mukaan SMK, MML ja MhMtOy testaavat ja määrittelevät seuraavan kansallisen laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelman (KALLIO) tuotantospesifikaatiot ja metsien inventointimenetelmät.

Hankkeessa oli tavoitteena tehdä tarkempi keilaus ja kuvaus kahdelta eri testialueelta, jotka olivat myös KALLIO-tuotantoalueita. Tällöin pystytään vertaamaan nykyistä puustotulkintaa ja hyödyntämään metsävaratiedon tuotannon maastokoealoja. Menetelmäkehityksen seuraava iso askel on yksinpuintulkinta, jota kehitetään ja testataan laajojen alueiden inventointiin. Nykyistä aluepohjaista puustotulkintaakin edelleen tarvitaan vähintään taimikoiden inventointiin. Yksinpuintulkinnan käyttöönotto edellyttää myös laskentojen kehittämistä, miten yksinpuin- ja aluepohjainen tulkinta yhdistetään empiirisiksi puustojakaumiksi ja lasketaan tulokset kuvioille.

Tarkemman puustotiedon lisäksi tiheämpi laserkeilaus ja yksinpuintulkinta mahdollistaa monimuotoisuuteen ja jatkuvaan kasvatukseen liittyvien metsän rakennepiirteiden tulkinnan ja laskennan kehittämisen, kuten puuston kerroksellisuus ja tilajärjestys. Yksittäisten latvusten tulkinnan haasteena on, pystytäänkö vallitsevien puiden lisäksi erottamaan pienempiä välipuita vai sekoittuvatko ne tiheälläkin laserilla pisimpien puiden latvuksiin. Lisäksi haasteena on, ettei metsän rakenteelle ole käytännön määrittämiä, mikä on merkittävä puujakso tai mikä on ryhmittäinen puusto. Edelleen tähän liittyy jatkuvan

kasvatuksen kohteiden, joille tehdään poiminta- ja pienaukkohakkuita, kuvioinnin vaikeus, eli miten rajataan eri-ikäisrakenteinen metsikkö.

Nykyistä merkittävästi tiheämpi laserkeilaus yhdessä ilmakuvausohjelman kanssa luo edellytykset myös erilaisten erityispuiden kartoituksen kehittämiseksi, kuten säästöpuut, kuolleet tai lahot pystypuut (ml. mahdolliset hyönteistuhopuut) sekä isot lehtipuut (ml. mahdolliset haavat).

Hankkeessa testataan toimenpiteen suoratulkintaa. Mukana on taimikonhoidon ja ensiharvennuksen kiireellisyys sekä ennakkoraivaustarve. Onnistuessaan toimenpiteen kiireellisyyden mallinnusta suoraan laser- ja ilmakuvauspiirteistä voitaisiin käyttää lisäpainona puustotunnusten perusteella simuloiduille toimenpide-ehdotuksille, jotta saadaan paremmin kiinni kiireelliset kohteet.

Lisäksi testataan kasvupaikkatiedon tarkentamista kahden eri ajankohdan keilaukseen perustuvalla pituusbonitoinnilla tai muulla kasvupaikkaluokkien tulkintaan soveltuvalla menetelmällä. Edelleen hankkeessa testataan ja määritellään metsävaratiedon tuotantoon mahdollinen hiililaskenta.

Hankkeen tavoitteet oli tiivistetty seuraavasti:

- Kansallisen laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelman tuotantomäärittelyiden uudistaminen, testaus ja kustannusvertailu.
- Metsien inventoinnin kehittäminen: tarkemmat puustotiedot (puulajit, puutavaralajit, taimikot), eri-ikäisrakenteisten metsien tulkinta, monimuotoisuuspiirteet (puuston kerroksellisuus ja tilajärjestys, säästöpuut, kuolleet/lahot pystypuut, isot lehtipuut), kasvupaikkatiedon tarkentaminen sekä hiililaskenta.
- Tulevan inventointikierroksen metsä- ja luontotietomallin laatiminen ml. selostukset siitä, mitä uusia tunnuksia, kohdeluokkia ja tietotuotteita tarvitaan ja voidaan tulkita laajoille alueille kaukokartoitusperusteisesti.

Hankkeen työt oli jaettu yhdeksään työpakettiin:

TP1. Aineistot

- Hankitaan tarkempi laserkeilaus ja ilmakuvaus kahdelta erilaiselta tuotantoalueelta. Hyödynnetään metsävaratiedon tuotannon maastodatat (ympyrä- ja puukarttakoealat sekä pienkuvioiden laatuksentrollit) sekä mahdollisuuksien mukaan kuolleen puun tulkintahankkeen (Kuopus) puukarttakoealat.
- Mitataan hankkeelle seuraavat lisäaineistot: puukarttakoealoja eri-ikäisrakenteisista metsistä, lisää ympyräkoealoja varttuneista taimikoista ja

ympyräkoealoja/puukarttoja nuorista kasvatusmetsistä, isoja lehtipuita (erityisesti haapoja), ns. nopeita koealoja toimenpiteiden suoratulkintaan sekä enemmän pienkuvioiden laatukontrolleja.

TP2. Puustotulkinta ja laskennat

- Kehitetään yksinpuin- ja aluepohjaisen tulkinnan hybridimenetelmä. Puustotulkinta tehdään molemmilla menetelmillä ja lisäksi kehitetään laskentoja (ml. aidommat puustojakaumat ja kuvioyleistyksen). Testataan myös toimenpidetarpeen suoratulkintaa (taimikonhoito, ensiharvennus ja ennakkoraivaus).

TP3. Erityispuut

- Testataan yksinpuintulkintana, mitä voidaan kartoittaa (sästöpuut, kuolleet tai lahot pystypuut, isot lehtipuut, joista erityisesti haapa).

TP4. Metsän rakenne

- Tätä ei todennäköisesti tulkita suoraan, vaan johdetaan puustotulkinnasta. Iso kysymys on, miten määritellään metsän kerroksellisuus (esim. pituusjakaumat) ja tilajärjestys (ryhmittäisyys). Tähän liittyy jatkuva kasvatus ja monimuotoisuuspiirteet.

TP5. Kasvupaikkatiedot

- Testataan kahden eri ajankohdan laserilla ja pituusbonitoinnilla tehtävää kasvupaikkaluokitusta, saadaanko menetelmä ainakin selkeiden kasvupaikkavirheiden korjaamiseen. Mallinnukseen ja evaluointiin tehdään kasvupaikkaluokitus maastossa.

TP6. Hiililaskenta

- Testataan ja määritellään metsävarakuvioiden hiililaskenta ja tietomalli. Tehdään integrointisuunnitelma tietojärjestelmän jatkokehitykseen. Voidaan tarkastella myös mallien kehittämistarpeita (puuston ja maaperän hiili).

TP7. Viestintä ja sidosryhmät

- SMK:n viestinnän kanssa tehdään suunnitelma, jonka mukaan viestitään hankkeesta ja sen tuloksista sopivilla kanavilla, medioissa ja tilaisuuksissa. Järjestetään myös työpaja erityisesti metsä- ja kaukokartoitusalan toimijoiden kanssa, jossa käydään läpi kehittämistä ja käytännön tietotarpeita.

TP8. Kaukokartoituspeksit

- Määritellään testien ja kustannushyötylaskelmien perusteella seuraavat keilauksen ja kuvauksen tuotantospeksit. Liittymänä selvitetään MML:n toimesta myös KALLIO-kumppaneiden laajentamismahdollisuuksia.

TP9. Metsävara- ja luontotietomalli

- Määritellään seuraavan KALLIO-kierroksen tietomalli, jota hyödynnetään puustotulkinnan hankinnassa, järjestelmäkehityksessä ja standardoinnissa.

Hankkeessa kehitettävät metsävara- ja luontotiedon inventointimenetelmät edistävät osaltaan myös maankäyttösektorin ilmastotoimenpidekokonaisuuden tavoitteiden toteutumista.

1.3 Yhteenveto hankkeesta

Hankkeen nimi ja akronyymi:

Kansallinen kaukokartoitus ja metsien digitaalinen kaksonen (MetsäKaksonen)

Osapuolet ja vastuuhenkilöt:

- Suomen Metsäkeskus, vastuuoorganisaatio, Juho Heikkilä, metsätiedon johtava asiantuntija, juho.heikkila@metsakeskus.fi
- Maanmittauslaitos, Juha Kareinen, kartastopäällikkö, juha.kareinen@maanmittauslaitos.fi
- Metsähallitus Metsätalous Oy, Roope Ruotsalainen, metsävara-asiantuntija, roope.ruotsalainen@metsa.fi

Kesto: 03/2023 – 10/2025

Budjetti:

- Suomen Metsäkeskus 921 000 €, josta MMM 100 %
- Maanmittauslaitos 488 571 €, josta MMM 70 %
- Metsähallitus Metsätalous Oy 104 000 €, josta MMM 50 %
- Yhteensä 1 513 571 €, josta MMM 1 315 000 €

Avainsanat: Metsien inventointi, metsävaratieto, luontotieto, kaukokartoitus, laserkeilaus, ilmakeilaus, puustotulkinta, maastokoealat.

Tiivistelmä: Kansallinen kaukokartoitus ja metsien digitaalinen kaksonen

Tavoitteet:

Tavoitteena oli kansallisen laserkeilaus- ja ilmakeilausohjelman tuotantomäärittelyiden ja metsien inventointimenetelmien uudistaminen laajojen alueiden kaukokartoitukseen.

Metsien inventoinnin kehittämistavoitteet olivat:

- Tarkemmat metsävaratiedot ja puustojakaumat, missä erityisesti puulajit, puutavaralajit ja taimikot.
- Yksinpuin- tai semi-yksinpuintulkinnan käyttöönotto aluepohjaisen puustotulkinnan rinnalle.
- Metsän erityispuiden inventointi, missä säästöpuut, kuolleet tai lahot pystypuut sekä isot lehtipuut eroteltuna mahdolliset isot haavat.
- Metsän toimenpidetarpeiden suoratulkinta, missä taimikonhoidon ja ensiharvennusten kiireellisyys ja ennakoraivaustarve.
- Metsän rakennepiirteiden tulkinta ja laskenta, missä erityisesti puuston kerroksellisuus ja ryhmittäisyys.
- Metsän kasvupaikkatietojen tarkentaminen.
- Metsien hiililaskenta.

Tarvittavien puustotunnusten, tietomallien, kohdeluokkien ja mahdollisten uusien tietotuotteiden määrittely.

Tulokset:

Hankkeessa on kehitetty metsävara- ja luontotiedon tuotantoon soveltuvia menetelmiä ja määritetty mahdollisia uusia tietotuotteita, jotka perustuvat tulevaan kansalliseen laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelmaan.

Tiheäpulsin laserkeilauksen myötä siirrytään kasvatus- ja uudistuskypsissä metsissä tulkitsemaan yksittäisiä puita ja latvuksia. Näistä isommista puista on mahdollista tehdä myös oma tietotuote, missä puut esitetään pisteinä. Taimikoiden tulkinta tehdään edelleen nykyisellä aluepohjaisella menetelmällä.

Yksinpuin- tai semi-yksinpuintulkinnan kautta saadaan kuvioille myös ns. empiiriset läpimittajakaumat, mitkä parantavat puulaji- ja puutavaralajitietoja sekä kasvunlaskentaa. Lisäksi voidaan laskea keskijäreys. Lähimpien koealojen puulistoilla voidaan tuottaa jakaumat myös aluepohjaisesta tulkinnasta, mutta ensisijaisesti puustojakaumat lasketaan yksittäisten latvusten tulkinnasta. Tuotettavat prosenttipistejakaumat on mahdollista lisätä myös avoimen datan metsävarakuvioille.

Varttuneiden taimikoiden hoitotarpeen ja ensiharvennuskohteiden kiireellisyyden suoratulkinnalla voidaan parantaa toimenpide-ehtotusten ajoitusta. Lisäksi voidaan arvioida mahdollista hakkuun ennakoraivaustarvetta. Suoratulkinta voitaisiin esittää esimerkiksi omana hilatuotteenaan, jolla olisi mahdollista kuvata kuvion sisäistä vaihtelua toimenpidetarpeen osalta. Tämä tuote voisi aktivoida myös metsänomistajia.

Yksittäisten latvusten tulkinta mahdollistaa erityispuiden tulkinnan, kuten säästöpuut, kuolleet pystypuut ja isot lehtipuut. Mahdollisuuksien mukaan pyritään luokittelemaan myös isoja haapoja, mutta niiden tulkinta on epävarmempaa. Puuston kerroksellisuuden ja ryhmittäisyyden määrittelyyn ja laskentaan ei riittänyt hankkeen resurssit, joten se jäi jatkokehitykseen.

Kahden eri ajankohdan laserin ja pituusbonitoinnin avulla on mahdollista täsmentää kasvupaikkatietoja. Boniteetti voi olla omana ravinteisuutta ja puuntuottokykyä kuvaavana hilatason muuttujana, joka voi täydentää kasvupaikkaluokitusta tai sillä voidaan mahdollisesti korjata selkeitä arviointivirheitä.

Hiililaskenta on määritelty, pilotoitu ja mahdollista viedä laskentajärjestelmään.

Tulosten arviointi:

Tiheä laserkeilaus ja yksinpuintulkinta ovat suurin metsävaratiedon uudistus 16 vuoteen. Tämä mahdollistaa uuden sukupolven tiedontuotannon ja merkittävästi laadukkaamman ja monipuolisemman metsävara- ja luontotiedon.

Laadukas metsävaratieto on Suomen metsätalouden kulmakivi ja lisäksi luontotiedon merkitys tulee kasvamaan entisestään. Tarkka laserkeilaukseen, ilmakuvaukseen ja maastoreferenssiin perustuva inventointi on myös ainoa kustannustehokas tapa vastata tuleviin haasteisiin, kuten esimerkiksi EU:n ennallistamisasetus. Kaukokartoitusmenetelmiä on myös mahdollista kehittää edelleen tulevaisuuden hankkeissa.

Kun tässä hankkeessa kehitetyt menetelmät otetaan käyttöön valtakunnallisessa tiedontuotannossa, on kyseessä ainutlaatuinen aineisto maailmassa ja voidaan puhua jo metsien digitaalisesta kaksosesta.

Julkaisut: Hankkeesta ei ole erillisiä julkaisuja. Pääraportin lisäksi liitteinä ovat AFRY Management Consulting Oy:n ja Field Finland Oy:n raportit.

Sammanfattning: Nationell fjärranalys och digital tvilling av skogar

Mål:

Huvudmålet var de nya definitionerna av det nationella laserskannings- och flygfotograferingsprogrammet samt nya fjärranalysbaserade skogsinventeringsmetoder.

Målen för skogsinventeringen var:

- Mer exakt skogsinformation och empiriska utbredningar, särskilt trädarter, stock/fiberved och plantor.

- Införande av individuell trädtolkning (ITD) eller semi-individuell trädtolkning (semi-ITC) tillsammans med areabaserad tolkning (ABA).
- Inventering av speciella träd, såsom naturvårdsträd, döda eller förfallna träd och stora lövträd, inklusive eventuella stora aspar.
- Direkt tolkning av skogsvårdsbehov, första gallringar eller preliminär röjning.
- Tolkning och beräkning av skogsstruktur, särskilt skogsskiktning och gruppering.
- Tolkning av ståndortstyper eller bonitet.
- Beräkningar av skogens kol.

Definitioner av skogsvariabler, datamodeller och möjliga nya dataprodukter.

Resultat:

Projektet har utvecklat metoder lämpliga för produktion av skogsresurs- och naturdata, och har definierat möjliga nya dataprodukter baserade på det nationella laserskannings- och flygbildsprogrammet.

Med tätpulslaserskanning kommer vi att gå över till att tolka enskilda träd och trädkronor i unga, medelålders och mogna skogar. Det är också möjligt att skapa en egen dataprodukt från dessa större träd, där träden presenteras som punkter. Tolkningen av plantor görs fortfarande med den nuvarande arealbaserade (ABA) metoden.

När tolkning av enskilda träd (ITD) eller semi-enskilda träd (semi-ITC) används, är det möjligt att generera empiriska diametertillväxtfördelningar, vilket sannolikt kommer att avsevärt förbättra inventeringen av trädslag, beräkningen av sågtimmer/massaved samt tillväxtmodellering. Dessutom kan den genomsnittliga stamvolymen beräknas. Fördelningar kan också produceras från den arealbaserade tolkningen med hjälp av trädlistor från närmaste grannprovytor, men i första hand beräknas trädfördelningar från tolkningen av enskilda träd. De producerade percentilfördelningarna kan också läggas till skogsbeståndets med öppen data.

Tolkning av enskilda kronor möjliggör klassificering av specialträd, såsom naturvårdsträd, stående döda eller murkna träd och stora lövträd. Dessutom skulle stora aspar kunna klassificeras, men deras tolkning är mer osäker.

Projektresurserna var inte tillräckliga för att definiera och beräkna skogens struktur, särskilt skogens kronlager och rumsliga mönster, så detta har lämnats för vidareutveckling.

Direkt tolkning av röjning av ungskog eller förstagallring kan förbättra tidpunkten för skogsvårdsbehandling. Dessutom kan det eventuella behovet av förberedande röjning bedömas. Direkt tolkning kan också presenteras som en separat

karttu, mikä mahdollistaa kuvata, jos on tarve puunkorjaukseen tai hakkuun koko metsästä. Tämä tuote voisi myös mahdollistaa metsäomistajien.

Käyttäen multitemporaalista laserdataa ja korkeusindeksiä on mahdollista hienentaa tehtäviä puuston indeksistä. Tämä luokitus voidaan käyttää omaksi muuttujaksi, joka kuvaa kasvustoa tai puuston tuottavuutta, jota voidaan käyttää korjaamaan tai parantamaan perinteisiä puustoluokkia.

Puuston laskenta puusta on myös määritelty, testattu ja voidaan sisällyttää metsätietojärjestelmään.

Utvärdering av resultat:

Laserpulsskanning och enskild trädtolkning är den största innovationen inom skogsinventering på 16 år. Detta möjliggör en ny generation av datatillverkning och betydligt högre kvalitet och mer mångsidig skogsresurs- och naturdata.

Högkvalitativa skogsresursdata är hörnstenen i finskt skogsbruk, och vikten av naturdata kommer också att växa ännu mer i framtiden. Exakt inventering baserad på laserskanning, flygfotografering och fältreferensdata är också det enda kostnadseffektiva sättet att möta framtida utmaningar, såsom EU:s restaureringsföreskrift. Det är också möjligt att vidareutveckla fjärranalysmetoder i framtida projekt.

När metoderna som utvecklats i detta projekt införs i den nationella produktionen av skogsresurser kommer detta att vara unika data i världen, och vi kan verkligen tala om en digital tvilling av skogarna.

Publikationer: Det finns inga separata publikationer om projektet. Utöver huvudrapporten bifogas rapporter från AFRY Management Consulting Oy och Field Finland Oy. All rapportering är på finska.

Summary: National remote sensing and digital twin of forests

Objectives:

The main goal was the new specifications of the national laser scanning and aerial photography program and new remote sensing-based forest inventory methods.

The goals of the forest inventory were:

- More accurate forest data and empirical distributions, especially tree species, sawlog/pulpwood and seedling stands.
- Introduction of single tree (ITD) or semi-single tree (semi-ITC) interpretation together with area-based (ABA) interpretation.

- Inventory of special trees, including retention trees, dead or decaying trees and large deciduous trees, with possible large aspens.
- Direct interpretation of silvicultural needs, first thinnings or preparatory clearing.
- Interpretation and calculation of forest structure, especially tree storeys and spatial pattern.
- Interpretation of forest site types or site productivity.
- Forest carbon calculations.

Definitions of the forest characteristics, data models and possible new data products.

Results:

The project has developed methods suitable for the forest resource inventory and nature data production and defined possible new data products based on the national laser scanning and aerial photography program.

With dense pulse laser scanning, we will move to interpreting individual trees and tree crowns in young, middle-aged and mature forests. It is also possible to create own data product from these larger trees, where the trees are presented as points. The interpretation of seedlings is still done using the current area-based method.

When single tree (ITD) or semi-single tree (semi-ITC) interpretation is utilized, it is possible to generate empirical diameter distributions, which are likely to significantly improve tree species inventory, sawlog/pulpwood calculation as well as growth modeling. In addition, the average stem volume can be calculated. Distributions can also be produced from area-based interpretation using the tree lists of the nearest neighbor sample plots, but primarily tree distributions are calculated from the interpretation of individual trees. The produced percentile distributions can also be added to the open data of forest resource stands.

Interpretation of individual crowns enables the classification of special trees, such as retention trees, standing dead or decaying trees and large deciduous trees. In addition, large aspens could be classified, but their interpretation is more uncertain. The project resources were not sufficient to define and calculate forest structure, especially forest canopy layers and spatial pattern, so it was left for further development.

Direct interpretation of seedling stand tending or first thinning can improve the timing for silvicultural treatment. In addition, the possible need for preparatory clearing can be assessed. Direct interpretation can also be presented as a separate map product, which make it possible to describe if there's need for tending or

thinning throughout the whole stand. This product could also activate forest owners.

Using multitemporal laser data and height index, it is possible to refine site fertility information. This bonitization can be used as its own variable describing fertility or site productivity, which can be utilized to correct or improve traditional forest site classes.

Forest carbon calculation has also been defined, piloted and it can be included in the forest information system.

Evaluation of results:

Dense laser scanning and single tree interpretation are the biggest innovation in forest resource inventory in 16 years. This enables a new generation of data production and significantly higher quality and more diverse forest resource and nature data.

High quality forest resource data is the cornerstone of Finnish forestry, and the importance of nature data will also grow even more in the future. Accurate inventory based on laser scanning, aerial photography and field reference data is also the only cost-effective way to meet future challenges, such as the EU Nature Restoration Regulation. It is also possible to further develop remote sensing methods in future projects.

When the methods developed in this project are introduced into national forest resource production, this will be unique data in the world, and we can truly speak of a digital twin of forests.

Publications: There are no separate publications about the project. In addition to the main report, reports from AFRY Management Consulting Oy and Field Finland Oy are attached. All reporting is in Finnish.

2 Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

2.1 Menetelmät ja aineisto

2.1.1 Kaukokartoituksen valmistelu

Testialueiden valinta

Hankkeessa hankittiin normaalia tuotantoaineistoa tarkempia laserkeilaus- ja ilmakuvausaineistoja kahdelta vuoden 2023 tuotantoalueelta. Tarkoituksena oli ilmakuvata ja laserkeilata kyseiset alueet normaaleilla tuotantospekeillä sekä

hankkeen tarkemmilla määrittelyillä. Tällä menettelyllä pystyttäisiin vertamaan tarkempien kaukokartoitusaineistojen hyötyjä nykyisiin aineistoihin.

Testialueiksi valittiin Heinävesi Pohjois-Karjalasta ja Ristijärvi Kainuusta (kuva 1). Kyseisillä alueilla ei ollut Puolustusvoimien rajoitealueita, jolloin niillä toimiminen oli helpompaa. Maantieteellisesti etelämpänä ja pohjoisempaan olevilla alueilla saataisiin testattua paremmin myös tarkempien aineistojen toimivuus erilaisissa metsissä.



Kuva 1. Vasemmalla on rajattuna Heinäveden ja oikealla Ristijärven laserkeilauksen ja ilmakuvauksen tuotanto- ja testialueet.

Keilaus- ja kuvausparametrit

Laseraineistojen parametrien osalta päädyttiin pistetiheyteen 20 p/m², jolloin se on nelinkertainen nykyiseen laseraineistoon verrattuna. Laserin jalanjäljen eli yksittäisen lasersäteen leviämisen osalta parametrin arvoksi määriteltiin 20 cm, kun se nykyisessä tuotannossa on 45 cm. Pienemmän jalanjäljen avulla pystytään tunnistamaan pienipiirteisempiä kohteita. Jalanjäljen rajoittaminen pienemmäksi rajoitti lentokorkeutta 950 metriin maanpinnan yläpuolelle. Tällä on suora kustannusvaikutus, kun aineiston tuottamisessa joudutaan lentämään enemmän.

Laserkeilausten osalta haluttiin minimoida myös tuotantotavasta riippuvat muuttujat. Tämän takia päädyttiin keilaamaan Heinäveden tuotantoalue MML:n omalla laserkeilaimella (Leica TerrainMapper 2). Ristijärven tuotantoalueen osalta aineiston kerääminen kilpailutettiin. KALLIO-ohjelman mukaisessa tuotannossa alue keilattiin Rieglin valmistamalla laserkeilaimella. Testikeilaukset haluttiin toteuttaa saman valmistajan keilaimella edellä mainittujen muuttujien minimoimiseksi.

Ilmakuvausten osalta haluttiin toimia samalla tavalla kuin laserkeilauksessa ja minimoida erot normaalin tuotannon ja testikuvausten välillä. Tämän takia

kuvaustekniikaksi valittiin tuotannossakin käytetty pan-sharpening. Testikuvausten resoluutiota haluttiin tarkentaa 30:stä 10 cm:iin. MML toteuttaisi Heinäveden alueen tarkemman kuvauksen ja Ristijärven tarkempi kuvaus kilpailutettiin. Molemmat alueet ilmakuvattaisiin KALLIO-tuotannossa 30 cm resoluutioon.

Kilpailutukset

Laserkeilauskilpailutus toteutettiin 22.3. – 5.5.2023 ja tarjouksia saatiin kaksi kappaletta. Laserkeilausten toteuttajaksi tuli BSF Swissphoto AG, joka keilaisi Ristijärven tuotantoalueen 20 p/m² pistetiheyteen. Normaalissa KALLIO-tuotannossa Ristijärven 5 p/m² keilauksesta vastasi Field Finland Oy.

Ilmakuvauskilpailutus toteutettiin 22.3. – 4.5.2023 ja tarjouksia saatiin myös kaksi, joista toinen jouduttiin sulkemaan pois kilpailusta. Ilmakuvausten toteuttajaksi tuli MGGP Aero Sp. z o. o., joka oli myös toinen vuoden 2023 tuotantokuvausten tekijöistä. Näin ollen MGGP:n tehtäväksi tuli kuvata Ristijärvi sekä normaalina tuotantona 30 cm resoluutiolla, että hankkeessa 10 cm resoluutioon.

2.1.2 Maastotöiden valmistelu

SMK rekrytoi 2023 maastokaudelle neljä mittaajaa. Työt tehtiin SMK:n mittausvälineillä ja -laitteilla. Metsätietoasiantuntijat vastasivat mittausohjeista, kohteiden ennakkosijoittelusta, maasto-koulutuksesta ja tuesta. Lisäksi ennen tulkintatestien aloitusta tehtiin puukarttojen jälkityöstö ja kaikkien maastodatojen laskenta. Myös metsävaratiedon tuotannon ja Kuopus-hankkeen puukarttakoealat olivat hankkeen käytössä ja ne sovitettiin myös tiheään laseraineistoon (latvussegmentointi ja vallitsevien puiden pituuksien poiminta laserilta).

Vuoden 2023 maastotöiden suunnittelu ja toteutus oli huomattavasti haastavampi, kuin hankkeessa osattiin budjetoida. Mittaajien, joista yksi teki reissutyötä, lisäksi tarvittiin merkittävä asiantuntijatyöpanos (myös maastossa). Erityisesti sopivien eri-ikäsrakenteisten kohteiden löytäminen ja niiden puukarttojen mittaus oli haastavaa ja aikaa vievää. Vaikka SMK:n työ- ja matkabudjetti ylittyi reilusti, mittauksista ei kuitenkaan tingitty, koska edustava ja huolellisesti mitattu maastodata on kehittämisen oleellisia asioita.

Vuonna 2024 tehtäviä maastomittauksia olivat toimenpidetarpeen suoratulkintakoealat, yksittäisten kuolleiden puiden ja isojen lehtipuiden mittaukset sekä kasvupaikkaluokkakoealat. SMK teki näihin tarvittavat tiedonkeruusovellukset.

MhMtOy rekrytoi 2024 maastokaudelle 2 mittaajaa. Työt tehtiin SMK:n mittausvälineillä ja -laitteilla. SMK:n ja MhMtOy:n asiantuntijat vastasivat

mittausohjeista, kohteiden sijoittelusta, maastokoulutuksesta ja tuesta. MhMtOy:n osuus koski erityisesti ennakkoraivaustarpeen arviointia. Hankkeessa laadittiin seuraavat maasto-ohjeet:

- MetsäKaksonen_toimenpidetarve_maasto_ohje,
- MetsäKaksonen_ennakkoraivaustarpeen_arviointiohje,
- MetsäKaksonen_yksittäisten_puiden_mittausohje, sekä
- MetsäKaksonen_kasvupaikkaluokkien_maasto_ohje.

Vuonna 2025 kaksi SMK:n asiantuntijaa teki vielä toimenpidetarpeiden suoratulkintojen sekä yksittäisten kuolleiden puiden ja isojen lehtipuiden (haapojen) visuaalista maastoevaluointia. Ristijärvellä tarkasteltiin vain suoratulkintoja, koska siellä ei tehty kuolleiden puiden tai haapojen tulkintaa. Koska näiden tulkintojen toimitus viivästyi ja asiantuntijoilla oli muita työkiireitä, aikaa syyskuussa tehtyyn maastoarviointiin jäi vähän, Ristijärvellä vain 2 ja Heinävedellä 7 päivää. Joka tapauksessa tulkitsijan tekemien koealatason analyysien lisäksi asiantuntijoiden arvioinnilla saatiin suhteellisen hyvä käsitys siitä, miten erityistulkinnat toimivat sovellustilanteessa maastossa.

2.1.3 Puustotulkinnan ja laskentojen suunnittelu

Puustotulkinta

Puustotulkinnan kehittämisen kilpailutus oli moninainen ja haastava kokonaisuus. Tarjouspyynnön lisäksi kilpailutusdokumentaatio sisälsi 26 liitettä:

- Liite 1. Kartta testialueista
 - Liite 1.1. Shapefile testialueista
- Liite 2. Ilmakuva-aineisto
- Liite 3. Laseraineisto
 - Liite 3.1. Laseraineiston metatiedot
- Liite 4. Lasertuotteiden metatiedot
- Liite 5. Lasertunnusrasterit
- Liite 6. Puustotulkinnan tuotannon mukaiset määrittelyt
- Liite 7. Puustotulkinnan testien määrittelyt
 - Liite 7.1. Esimerkki mahdollisesta puustotulkinnan hybridimenetelmästä
- Liite 8. Puustotulkinta-aineiston kuvaus
- Liite 9. Puustotulkinnan koealatason analyysi
- Liite 10. Koealojen tiedonsiirtoformaattit
- Liite 11. Kiinteäsaiteisten ympyräkoealojen maastotyöohje
 - Liite 11.1. Hoito- ja harvennustarpeen arviointiohje
 - Liite 11.2. Ennakkoraivaustarpeen arviointiohje
- Liite 12. Puukarttakoealojen maastotyöohje
 - Liite 12.1. Eri-ikäisrakenteisten puukarttojen erityispiirteet
- Liite 13. Hintalomake testialueittain
- Liite 14. Tilaa javastuulain mukaiset vaatimukset
- Liite 15. Turvallisuussopimus
 - Liite 15.1 Vaitiolo- ja salassapitositoumus
 - Liite 15.2 Tietoturva vaatimukset
 - Liite 15.3 Kuvaus tietojen käsittelystä, tietojen suojauksesta ja tietoturvasta
 - Liite 15.4 Poikkeamailmoituksen mallipohja
- Liite 16. MetsäKaksonen alkuperäinen hankesuunnitelma

Tarjouspyynnössä korostettiin myös toimittajan oman panoksen merkitystä, koska osallistuminen luo toimittajalle paremmat edellytykset tarjota tulevaisuuden metsien inventointia ja hankkeen budjetti on rajallinen.

Potentiaalisten toimittajien rajaamiseen käytettiin kelpoisuusvaatimuksia, joihin kuuluivat toimittajan taloudellinen tilanne ja liikevaihto, henkilöstöresurssit ja osaaminen, referenssit puustotulkinnasta sekä tietotekniset ja menetelmälliset edellytykset. Vaatimukset täyttävät toimittajat vertailtiin testialueittain ja valittiin edullisin. Oli mahdollista valita myös useampi toimittaja per testialue. Lisäksi ehtona oli, että jos valitaan vain yhdet, niin sama toimittaja ei voi olla molemmilla alueilla.

Tarjousvertailussa käytetty puustotulkinta sisälsi:

- 1) yksinpuintulkinnan,
- 2) aluepohjaisen hilatulkinnan,
- 3) aluepohjaisen latvusrajatun tulkinnan, sekä
- 4) mikrokuvioinnin ja sille yleistetyn tulkinnan.

Lisätöinä, joita hankittiin budjetin rajoissa, olivat seuraavat tuotteet ja testit:

- Lasertuotteet (DTM, CHM, Hillshade, H95 ja VTI). Kaksi viimeistä liittyvät SMK:n automaattiseen kuviorajojen korjaustyökaluun.
- Tulkinta 10 cm ilmakuville (vain Heinävesi). Paraneeko puulajit tarkemmilla kuvilla, edellyttäisi kuvausta 2024.
- Kuolleiden puiden tulkinta (vain Heinävesi). Yhdistettynä yksinpuintulkintaan ja erikseen, tunnistetaanko kuolleita tai leviääkö eläviin puihin.
- Isojen lehtipuiden tulkinta (vain Heinävesi). Yhdistettynä yksinpuintulkintaan ja erikseen, pystytäänkö haapoja erottamaan.
- Eri-ikäisrakenteisten metsien tulkinta. ER-puukarttojen kanssa ja ilman, onko hyötyä ER-kohteilla tai vaikuttaako tasaikäisrakenteisiin metsiin.
- Varttuneiden taimikoiden/nuorten metsien tulkinta. Parantaako tiheä laser tai koealojen lisäys ja kannattaako mitata puukarttoja nuorista metsistä.
- Toimenpiteiden suoratulkinta (taimikonhoito, ensiharvennus ja ennakkoraivaus).
- Kasvupaikkaluokkien tulkinta (vain Heinävesi), pituusbonitointi tai muu menetelmä. Heinäveden pienemmältä osa-alueelta Liperistä oli käytettävissä myös 2016 8 p/m² keilaus.

Hankintaan saatiin kolme hyväksyttyä tarjousta. Budjetin raameissa oli mahdollista valita vain yksi toimittaja per testialue. Kolmanneksi tullut toimittaja oli molemmilla alueilla huomattavasti muita kalliimpi. Jos kallein tarjoaja olisi

valittu, niin olisi pitänyt valita myös toiseksi tullut eli kaikki kolme, mihin hankkeen budjetti ei olisi riittänyt edes toisella testialueella.

Kilpailutus eteni seuraavasti: hankintailmoitus 28.11.2023, lisäkysymykset ja vastaukset 13.-20.12., tarjoukset 5.1.2024, hankintapäätös 15.1. ja valitusaika päättyi 29.1. Sopimukset solmittiin 28.2. Field Finland Oy:n ja 8.3.2024 AFRY Management Consulting Oy:n kanssa.

Fieldin sopimus Heinävedeltä sisälsi seuraavat työt: 1) yksinpuintulkinta, 2) aluepohjainen hilatulkinta, 3) aluepohjainen latvusrajattu tulkinta, 4) mikrokuviointi ja sille yleistetty tulkinta, 5) lasertuotteet (DTM, CHM, Hillshade, H95 ja VTI), 6) eri-ikäisrakenteisten metsien tulkintatesti, 7) varttuneiden taimikoiden ja nuorten metsien tulkintatesti, 8) kuolleiden puiden tulkintatesti, 9) isojen lehtipuiden tulkintatesti, 10) toimenpiteiden suoratulkintatesti, sekä 11) kasvupaikkaluokkien tulkintatesti.

Afryn sopimus Ristijärveltä sisälsi seuraavat työt: 1) yksinpuintulkinta, 2) aluepohjainen hilatulkinta, 3) aluepohjainen latvusrajattu tulkinta, 4) mikrokuviointi ja sille yleistetty tulkinta, 5) lasertuotteet (DTM, CHM ja Hillshade), 6) eri-ikäisrakenteisten metsien tulkintatesti, 7) varttuneiden taimikoiden ja nuorten metsien tulkintatesti, sekä 8) toimenpiteiden suoratulkintatesti.

Metsälaskennat

Laskentojen kehittämisen tavoitteina olivat seuraavat tehtävät:

- Aluepohjaisen tulkinnan lähimmillä koealoilla empiiriset runkolukusarjat
 - Tulkintayksiköillä koealaviittaukset, etäisyyspainot ja koealojen puulistat. Lasketaan prosenttipistemenetelmällä puulajeittaiset läpimitta- ja pituusjakaumat.
 - Korvataan teoreettiset Weibull-jakaumat (säilyy vaihtoehtona), empiirisiä runkolukusarjoja voidaan myös harventaa ja kasvattaa.
- Yksinpuin ja/tai semi-yksinpuintulkinta (puu/latvus)
 - Aidommat puustojakaumat, laskentatesteissä molemmat menetelmät.
 - Tietomalli ja kohdeluokka, johon sopii sekä yksinpuin/semi-yksinpuintulkinta.
- Yksinpuin ja aluepohjainen hybridimenetelmä
 - Todennäköisesti SMK:n laskentaa. Kehitetään kuviopuuston laskenta, kun on yksinpuin/semi-yksinpuin latvuksia ja aluepohjaisia yksiköitä.
 - Mahdollistaa esim. 2-huippuiset läpimittajakaumat, tarkemmat puutavaralajit ja keskijäreyden laskennan.

- Todellista puustoa paremmin vastaavilla jakaumilla myös parempi kasvunlaskenta.
- Suoratulkinnan käyttö toimenpidesimuloinnin apuna/painona
 - Erillinen tulkinta, josta erityisesti taimikonhoidon ja ensiharvennuksen kiireellisyys ja mahdollinen ennakkoraivaustarve.
 - Pitäisi viedä myös osaksi laskentajärjestelmän toimenpidesimulointia.
- Erityispuut ja tietomalli (kuolleet puut, isot lehtipuut/mahdolliset haavat)
 - Puustotulkinnassa erillinen luokitus latvussegmenteille.
 - Osaksi luontotiedon kohdeluokkaa, missä ovat myös säästöpuut. Kehitetään, miten vaikuttavat metsävarakuvioiden laskentaan.
- Puuston kerroksellisuus ja tilajärjestys
 - Todennäköisesti SMK:n laskentaa. Mikä on merkittävä puujakso, tunnistetaanko alikasvosta. Mikä on sopiva ryhmittäisyyttä kuvaava tilajärjestysfunktio.

Kilpailutus eteni seuraavasti: hankintailmoitus 29.1.2025, lisäkysymykset ja vastaukset 12.-17.2. sekä tarjoukset 26.2. Hankinta keskeytettiin 10.3., koska saatiin vain yksi tarjous, eikä hankebudjetti riittänyt kilpailutettujen tehtävien hankintaan. Tarjouspyyntö muotoiltiin uudelleen niin, että oli mahdollista hankkia vain osa kilpailutettavista tehtävistä. Uusi hankintailmoitus julkaistiin 12.3., lisäkysymykset ja vastaukset 19.-21.3. sekä tarjoukset 26.3. Saatiin kolme tarjousta, joista kaksi hylättiin puutteellisten referenssien takia. Hankintapäätös tehtiin 2.4. ja valitusaika päättyi 16.4. Toimittajaksi valittiin AFRY Management Consulting Oy, jonka kanssa allekirjoitettiin sopimus 18.6.2025.

Laskentojen kehittäminen perustuu puustotulkintatestien tuloksiin, joten työtä ei voinut aloittaa ennen kuin kaikki tarvittavat puustotulkinnat olivat valmiina. Hankkeen budjetti riitti seuraaviin kehittämistehtäviin ja testeihin:

- 1) Aluepohjaisen tulkinnan puustojakaumien laskenta ja tietomalli (tulkintayksiköiden kautta kuviolle).
- 2) Yksinpuintulkinnan ja semi-yksinpuintulkinnan tietomalli (molemmille soveltuva).
- 3) Yksinpuintulkinnan ja aluepohjaisen tulkinnan sekä semi-yksinpuintulkinnan ja aluepohjaisen tulkinnan yhdistäminen kuviolaskennassa ja tietomalli.
- 4) Erityispuiden tietomalli ja yhdistäminen kuviolaskentaan.

Näihin tehtäviin ei ollut varaa (määrittelyt ja laskennat on kehitettävä jatkotyönä toisessa hankkeessa):

- 5) Toimenpidetarpeen suoratulkinta osana toimenpidesimulointia (painona).

- 6) Puuston kerroksellisuuden (jaksot) ja puuston tilajärjestyksen (ryhmittäisyys) laskenta kuvioille ja tietomalli.

2.2 Aikataulu ja resurssit

Kaikki kolme osapuolta osallistuivat hankkeen suunnitteluun. Lisäksi aikataulu ja vastuut olivat vuositasolla seuraavat:

- 2023. Testialueiden keilaus ja kuvaus (MML, hankitaan konsulteilta tai MML:n omat lennot).
- 2023-24. Koealamittaukset ja muut tulkintatesteissä tarvittavat maastotyöt (SMK ja MhMtOy).
- 2024-25. Puustotulkinta- ja laskentatestit sekä maastoevaluoinnit (puustotulkintayritykset, laskentajärjestelmäkehittäjä ja SMK).
- 2025. Tulokset, johtopäätökset ja raportointi (tulkitsijat, laskennan kehittäjä, SMK ja MML). Uuden kierroksen laserkeilauksen, ilmakuvaus ja metsien inventoinnin määrittelyt (MML, SMK ja MhMtOy).

MML toteutti tai hankki kaukokartoituksen. Kesän 2023 keilaukset saatiin suunnitelman mukaan. Huonojen säiden ja lentokoneongelmien takia 10 cm resoluution ilmakuvaus ei onnistunut, mutta saatiin kerättyä 20 cm kuvat Ristijärveltä ja 30 cm kuvat Heinävedeltä. Kaukokartoitusdatojen toimituksissa meni suunniteltua pidempään, minkä takia puustotulkintojen liikkeellelähtö viivästyi.

SMK vastasi maastomittauksista. MhMtOy osallistui maastomittaajien rekrytointiin sekä ennakkoraivaustarpeen arvioinnin ohjeistukseen ja koulutukseen. Kaikkia maastomittauksia ei saatu tehtyä 2023, vaan erillistestien maastomittaukset tehtiin 2024. Ensimmäisenä kesänä ja syksynä mitattiin kuitenkin kattava maastoaineisto varsinaisten puustotulkintojen kehittämiseen. Erillistestien maastomittaukset toimitettiin tulkitsijoille marraskuun alussa 2024, joten niiden tulkinta siirtyi käytännössä vuodelle 2025.

SMK toteutti puustotulkintojen kilpailutuksen niin, että sopimukset solmittiin helmi-maaliskuun vaihteessa 2024. Aineistojen takia Ristijärven tulkintojen aloitus oli 8.4. ja Heinävedellä vasta 22.4.2024. Vastaavasti SMK toteutti laskentojen kehittämisen kilpailutuksen, jonka sopimus allekirjoitettiin kesäkuussa 2025.

SMK piti puustotulkitsijoiden kanssa tulkintoihin ja laskentoihin liittyviä suunnittelu- ja tilannepalavereja 2024-25 arviolta 20 kertaa. Tulkitsijat esittivät puustotulkinnan mallinnusten alustavia tuloksia joulukuun 2024 ohjausryhmän kokouksessa, mutta lopulliset yksinpuin- ja aluepohjaisen tulkinnan mallit valittiin, sekä koealatason ja laatukontrollikuvioiden tulokset toimitettiin kevään 2025

kuluessa. Osa koko alueen (wall-to-wall) puustotulkintojen, myöhemmin aloitettujen erillistestien sekä laskentojen kehittämisten toimitukset menivät syksyyn 2025. Puustotulkintojen ja laskentojen sopimukset ovat kuitenkin voimassa vuoden 2025 loppuun, joten varsinaisen hankeajan jälkeenkin on vielä mahdollista tehdä täsmennyksiä sopimuksen mukaisiin toimituksiin sen voimassaoloaikana.

2.3 Kustannukset ja rahoitus

SMK:n vuosibudjetti ylittyi 2023 liki 90 t€. Suurin syy oli SMK:n suunnittelemat ja toteuttamat maastotyöt, joihin kului resursseja ennakoitua huomattavasti enemmän. Lisäksi toteutettiin hiililaskentatesti, joka ei ollut alkuperäisessä suunnitelmassa vuodelle 2023.

Ostopanosten osalta alkuperäisessä suunnitelmassa arvioitiin, että puustotulkintatestit olisivat 200 t€ ja laskentojen kehittäminen 100 t€, jolloin SMK:n ostobudjetti oli 300 t€.

Hankinta perustulkinnoilla ja suunnitelluilla erillistesteillä oli valittujen toimittajien osalta yhteensä noin 290 t€. Lisäksi hiililaskentatesti oli 10 t€, joten SMK:n alkuperäinen ostobudjetti meni kokonaan näihin, eikä laskentojen kehittämiseen olisi jäänyt varoja.

Ratkaisuina tähän oli, että suunniteltu 10 cm ilmakuvaus jäi pois. Hanke osoitti, että tarkempiin kuviin liittyy sääriski, minkä vuoksi tällaisten kuvien tuotanto ei ole realistista. Toteutunut Ristijärven 20 cm kuvaus kohdistettiin hankkeelle ja Heinäveden 30 cm kuvaus metsävaratiedon tuotantoon. Lisäksi Ristijärvelle kilpailutettu 20 p/m² keilaus ei ollut niin kallis, kuin alun perin arvioitiin. Heinäveden alueen keilasi MML ja kustannusperusteena oli koneen vuokra. MML ja SMK laskivat, että MML:n budjetin MMM-rahoitusosuudesta oli siirrettävissä 180 t€ SMK:lle, jotta voitiin hankkia keskeiset tulkintatestit, kehittää laskentoja ja paikata myös yli mennyttä työ- ja matkabudjettia. MML arvioi, että sille riitti alkuperäisen budjetin mukainen työosuus 2024-25 ja pienet matkakulut. SMK teki ohjausryhmälle ja MMM:lle erillisen selvityksen hankkeen varojen sisäisestä siirrosta, joka hyväksyttiin MMM:n rahoituksen muutospäätöksenä 2.4.2024.

Kaikki suunnitellut maastotyöt sekä tulkinta- ja laskentatestit kahta lukuun ottamatta saatiin toteutettua. Koska hankkeen ostopalveluvarat eivät riittäneet, laskennoista jäi pois suoratulkinta osana toimenpidesimulointia sekä puuston kerroksellisuuden ja ryhmittäisyyden kehittäminen. Näihin aiheisiin on mahdollista palata toisen hankkeen yhteydessä.

Taulukossa 1 on eritelty hankkeen budjetti ja toteutuneet kustannukset. Mukana

on myös edellä mainittu sisäisen rahoitus siirto. SMK:n ja MhMtOy:n tavoitteena oli tehdä yhteistyötä myös tulosten maastoevaluoinnissa ja johtopäätöksissä puustotulkinnan erillistestien ja metsän rakenteen osalta. Tulkintatestien viivästyksistä johtuen laajempia yhteisiä evaluointeja ei ehditty toteuttamaan ja metsän rakenne jäi jatkokehitykseen. Pääosin tästä syystä MhMtOy:n oman työn osuutta jäi käyttämättä. SMK teki kuitenkin hankkeen kannalta riittävät maastoevaluoinnit aikataulun puitteissa syyskuun loppupuolella.

Budjetti ja toteutuneet 03/2023 - 09/2025								
	SMK				MML			
	Budj. 23-25	3-12/23	1-10/24	11/24-9/25	Budj. 23-25	3-12/23	1-10/24	11/24-9/25
Ostot	400000	10206	31598	444019	398016	398016		
Alv	96000	2449	7610					
Palkat	268555	121571	71999	77350	60654	18584	34753	41458
Yleiskust.	123445	55923	33119	35581	27901			
Matkat	33000	23155	1257	1067	2000			
Yhteensä	921000	213304	145583	558016	488571	416600	34753	41458
MMM	921000	213304	145583	558016	342000	291620	24327	26052
* 11/24 - 09/25 alv on sisällä ostoissa					* Maksatuksissa ei ole eritelty yleiskust.			
	MhMtOy				Kaikki			
	Budj. 23-25	3-12/23	1-10/24	11/24-9/25	Budj. 23-25	3-12/23	1-10/24	11/24-9/25
Ostot					798016	408222	31598	444019
Alv					96000	2449	7610	0
Palkat	69000	1684	26398	302	398209	141839	133150	119109
Yleiskust.	31500	771	12143	139	182846	65242	45262	35720
Matkat	3500		14962		38500	23155	16219	1067
Yhteensä	104000	2455	53503	441	1513571	640907	233839	599915
MMM	52000	1228	26752	221	1315000	512135	196661	584289
* 01 - 10/24 matkojen ylitys otettu palkoista								

Toteutuneet osapuolittain ja yhteensä				
	Kaikki kust.	MMM-os.	MMM-budj.	Rah. +/-
SMK	916903	916903	921000	4097
MML	492811	344968	342000	-2968
MhMtOy	56399	28200	52000	23801
Kaikki	1466113	1290070	1315000	24930

Taulukko 1. Hankkeen budjetti, toteutuneet kustannukset ja MMM-rahoitus osapuolittain.

2.4 Raportointi, julkaisut ja seuranta

Afryn (3 kpl) ja Fieldin (8 kpl) raportteihin ei aina viitata tekstissä erikseen, mutta ne ovat tämän pääraportin liitteinä.

Aineistolla on tehty yksi opinnäytetyö: Jeskanen, J. 2025. Suurten haapojen tunnistaminen laserkeilauspistepilvestä tekoälyn avulla. Pro gradu, Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden, metsätieteiden ja tekniikan tiedekunta, Metsätieteiden osasto. 47 s.

Lisäksi tätä kirjoitettaessa Itä-Suomen yliopistolla on yksi käsikirjoitus tieteelliseen julkaisuun kesken ja heiltä on tulossa myöhemmin myös muita opinnäytteitä hankkeen aineistolla.

2.5 Toteutusvaiheen arviointi

2.5.1 Laserkeilaus ja ilmakuvauus

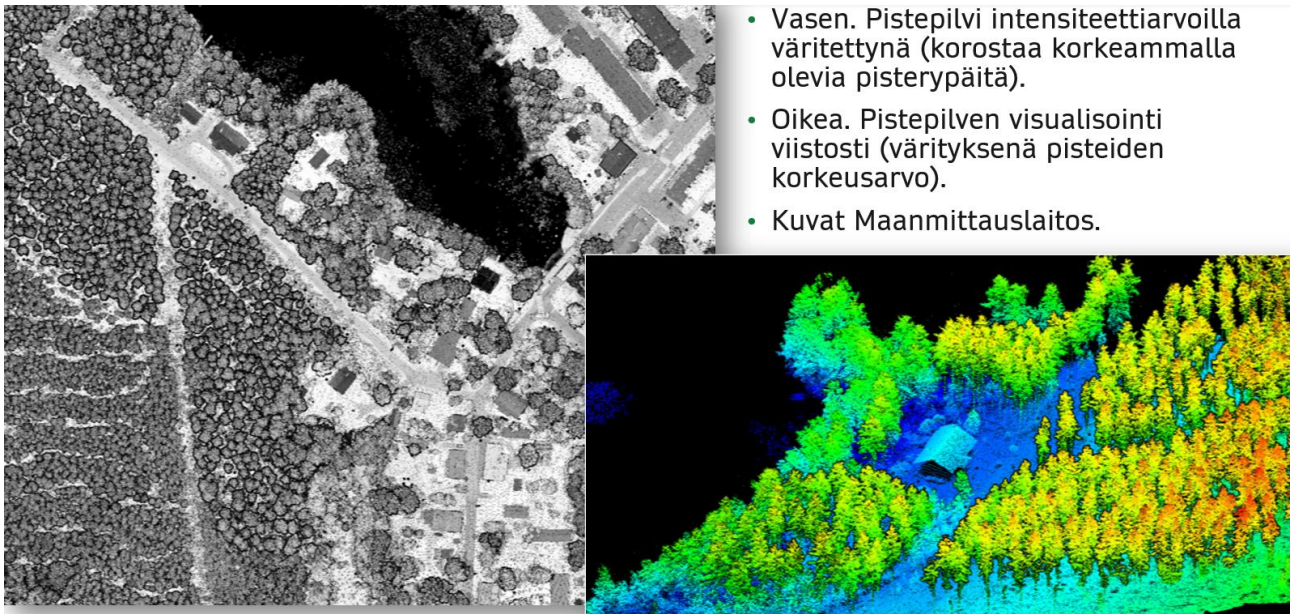
Keilaus ja kuvaus vaativat aurinkoista ja pilvetöntä säätä, jotta aineistojen kerääminen voidaan toteuttaa. Tuotantokausi 2023 oli erittäin haastava sääolosuhteiden osalta. Tämän takia osaa normaalista KALLIO-tuotannosta ei saatu kerättyä. Hankkeen testiaineistojen osalta haasteet kohdistuivat erityisesti ilmakuvauksiin.

Heinäveden keilauksen pinta-alaksi tuli 2 750 ja kuvausalaksi 2 646 km². Metsää alueella on noin 162 200 ha. MML suoritti tiheän keilauksen 18.6. – 16.7. MML ei pystynyt toteuttamaan tarkempaa kuvausta, koska toinen lentokone ei ollut lentokuntoinen 25.5. – 21.6. ja säät olivat erittäin huonot juhannuksesta eteenpäin. Koska vain pieni osa oli saatu kuvattua, niin 28.8. päätettiin, ettei 10 cm kuvausta enää jatketa. Heinävedeltä saatiin ainoastaan tuotannon mukaiset 30 cm ilmakuvat 15.6. Field Finland Oy:n toteuttamana.

Ristijärven keilausala oli 2 499 ja kuvausala 2 754 km². Metsää alueella on noin 221 100 ha. BSF Swissphoto teki tiheän keilauksen 12.-21.6. MGGP Aerolla oli ongelmia kuvauskoneen kanssa ja he toivat tehokkaamman lentokoneen Suomeen 19.6. Säät olivat huonot ja elokuussa alue oli edelleen kuvaamatta. Uhkana oli, että sekä 10 että 30 cm resoluution ilmakuvat jäisivät keräämättä. Lopulta kauden loppusuoralla 18.8. MGGP Aero sai kerättyä kompromissina 20 cm kuvat, joiden kustannukset kohdistettiin hankkeelle. Kyseisistä ilmakuvista tehtiin testaukseen myös 30 cm kuvat jälkilaskennalla.

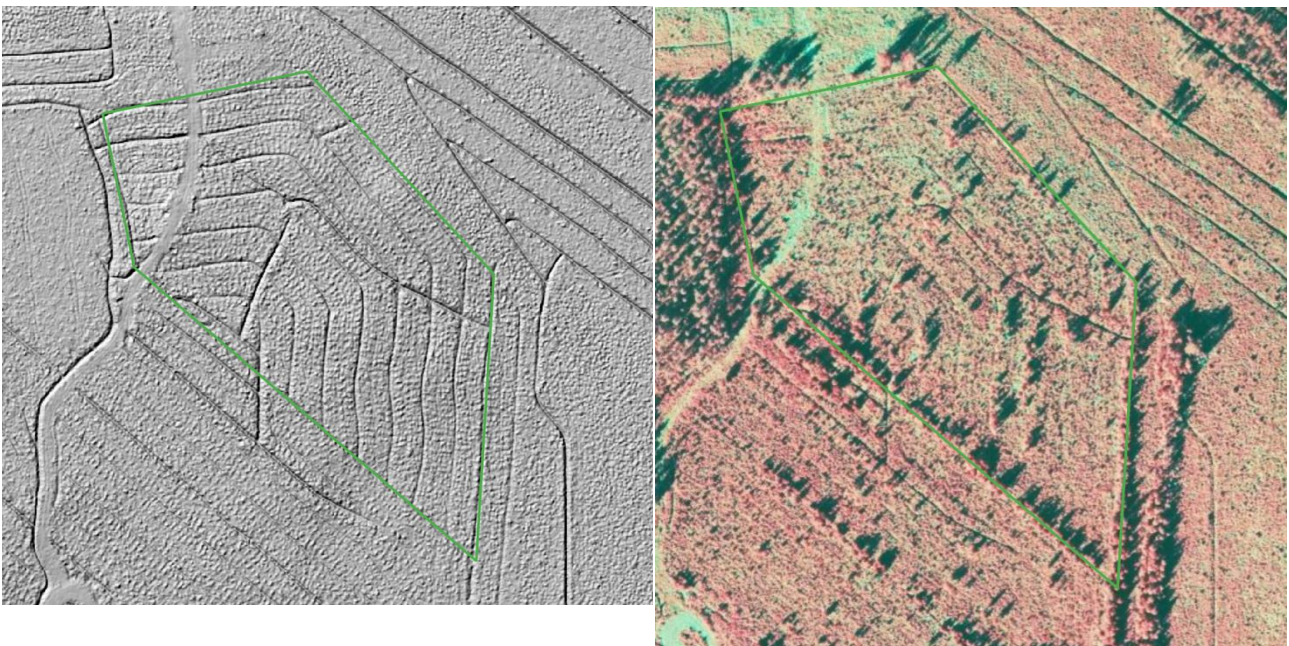
Heinäveden 20 p/m² keilauksen osalta MML tehosti myös laserpisteiden suodatusta niin, että havaittiin paremmin ilmapisteitä, jotka luokiteltiin virhepisteiksi. Edelleen MML laski kaikonumeroinnin uudelleen, jotta lasersäteiden kaikki mahdolliset paluukaiut luokiteltiin oikein (numerointi 12 saakka). Vastaavasti Ristijärven tulkitsija halusi käyttää ensisijaisena ilmakuva-aineistona ns. tosiortoja alkuperäisillä sävyillä. Aiemmin tulkinnessa on hyödynnetty pääosin ns. level02-raakakuvia. MML tuotti myös tosiortot Ristijärven alueelta.

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkejä laseraineiston visualisoinneista.

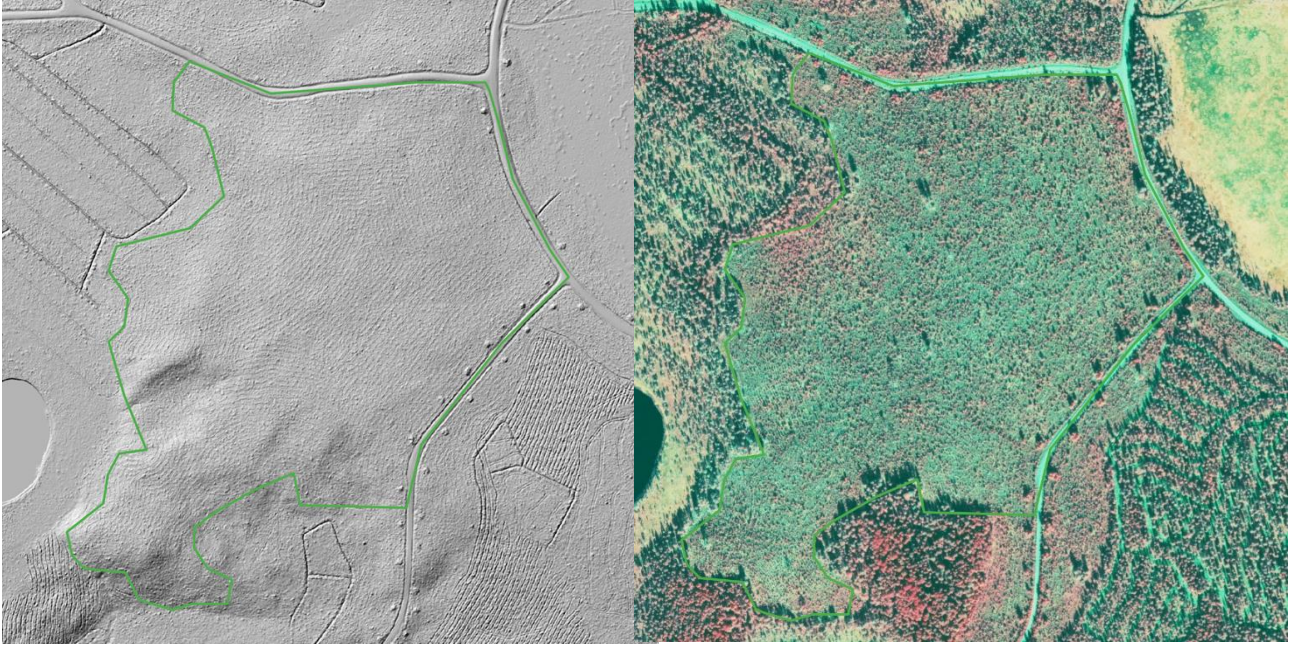


Kuva 2. Kaksi visualisointikuvaa 20 p/m² laserista.

Puustotulkitsijoilta tilattuja lasertuotteita olivat mm. latvushallit (CHM, canopy height model) ja maanpintamallit (DTM, digital terrain model). Seuraavassa on esimerkkeinä 20 p/m² laserin maanpintamallista muodostettuja vinovalovarjosteita (Hillshade) 50 cm resoluutiolla (kuvat 3-5). Voidaan havaita, että mm. maanmuokkaukset ja harvennuksen ajourat erottuvat hyvin. Automaatiikkaa ajatellen on todettu, että jos asia näkyy visuaalisesti, niin koneenkin pitäisi se oppia. Esimerkiksi metsälain valvontaan liittyen, jos on tehty maanmuokkaus, niin todennäköisesti uudistaminenkin on hoidettu asianmukaisesti.



Kuva 3. Mätästyskohde, vinovalovarjoste 50 cm pikselikoko ja ilmaukuva 30 cm resoluutio.



Kuva 4. Äestyskohde, vinovalovarjoste 50 cm pikselikoko ja ilmakekuva 30 cm resoluutio.



Kuva 5. Harvennushakkuu (korjuujälki), vinovalovarjoste 50 cm pikselikoko ja ilmakekuva 30 cm resoluutio.

2.5.2 Maastotyöt

Kaudella 2023 mitattiin kattava ja laadukas maastoaineisto. Tuotannon ja hankkeen mittausten lisäksi Kuopus-hankkeen puukartoista hyödynnettiin ne, joilta oli mitattu sekä kuolleet että elävät puut. Puukarttojen, ympyräkoealojen ja laadunvarmistuskuvioiden määrät (ml. systemaattisen otannan ympyräkoealat) on esitetty taulukossa 2.

Yhteensä	puukartat	ympyräkoealat	laatukontrollikuviot (koealat)
Heinävesi	327	599	76 (448)
Ristijärvi	235	697	93 (499)

	Metsävaratiedon tuotanto			MetsäKaksonen, 106 puukarttaa, 166 ympyräkoealaa, 57 laatukontrollikuvioita (sis. 320 ympyräkoealaa)			
Aineisto	puukartat	ympyräkoealat	laatukontrollikuviot	ER-puukartat	T2/02-puukartat	T2/02-ympyräkoealat	T2/02-laatukontrollikuviot
Heinävesi	169	510	50	50	21	89	26
Ristijärvi	186	582	50	35	-	77	31

	Tuotanto (2022-23 yhteispeittoalue)		
Aineisto	2022 puukartat	2022 ympyräkoealat	2022 laatukontrollit
Ristijärvi	14	38	12

	Kuopus-hanke	
Aineisto	Kuolleet/elävät puut-puukartat	Vain kuolleet puut-puukartat, evaluointiin, ei yo. kok. määrässä
Heinävesi	87	39

Taulukko 2. Puustotulkintaan käytetyt koealat ja laatukontrollit metsävaratiedon tuotannosta, hankkeen mittauksista sekä Kuopus-hankkeesta.

Kauden 2024 mittauksissa keskityttiin erillistestien referenssiaineistoihin. Koealoja kerättiin toimenpidetarpeen suoratulkintaan molemmilta testialueilta.

Heinävedeltä paikannettiin ja arvioitiin myös kasvupaikkakoealoja, jotka sijoiteltiin 2016 tehdyn Optech Titan-keilauksen alueelle. Tällöin testitulkintaan on käytettävissä sekä vanhempi 8 p/m² että uudempi 20 p/m² laseraineisto. Lisäksi Heinävedeltä mitattiin yksittäisiä kuolleita pystypuita ja isoja lehtipuita. Yksittäisiä puita paikannettiin sekä aukoilta että metsästä. Mitattujen referenssipuiden (ml. kuolleet) tuli olla riittävän suuria, jotta ne erottuvat myös laserilla ylhäältä päin. Kaikilta koealoilta ja mitatuista yksittäisistä puista otettiin myös valokuvat.

Heinävedeltä arvioitiin suoratulkintakoealoja yhteensä 904 kpl, joista löytyi myös ennakkoraivaustarpeellisia 134 kpl. Kasvupaikkakoealoja arvioitiin yhteensä 385 kpl eri kangasmaiden kasvupaikkaluokista ja pääpuulajeista. Kasvupaikkakoealoja paikannettiin pääosin kasvatus- ja uudistuskypsiin metsiin (keh.lk 02-04), mutta 10 koealaa sijoiteltiin myös yli 5 m T2-taimikoihin. Yksittäisiä referenssipuita mitattiin yhteensä 353 kpl. Yhteenvedo Heinävedellä mitatuista koealoista ja yksittäisistä puista on esitetty taulukossa 3.

Heinävesi						
Kehitysluokka ja pääpuulaji, kpl						
kl	yht.	mänty	kuusi	lehtipuu		
T2	335	75	142	118		
02	376	103	189	84		
03	193	74	60	59		
yht.	904	252	391	261		
Toimenpiteet	Heti	1-3v	4-6v	7-10v	Ei tarvetta	raivaus (null)*
T2, taimikonhoito						
334	123	92	57	29	33	
02, taimikonhoito						
71	32	25	10	4	0	
02, hakkuut						
306	77	67	76	41	45	
02, ennakkoraivaus						
	80				140	86
03, hakkuut						
193	27	87	42	14	23	
03, ennakkoraivaus						
	54				102	37
Yhteensä						
904						
Yksittäiset puut	Mitatut	Kasvupaikka		mä	ku	lepu
Haavat	107		Lehto	0	20	12
Koivut	62		OMT	12	67	36
Kuolleet	169		MT	30	56	15
Elävä mänty	11		VT	59	23	7
Elävä kuusi	4		CT	38	4	0
Yhteensä	353		CIT	6	0	0
			Yhteensä	145	170	70
			385			

Taulukko 3. Heinäveden erillistulkintoihin käytettyjä suoratulkintakoealoja, yksittäisiä puita ja kasvupaikkakoealoja.

Ristijärveltä paikannettiin ja arvioitiin yhteensä 442 suoratulkintakoealaa, jotka sijoiteltiin pääpuulajin ja kehitysluokan mukaan (taulukko 4). Mukana on myös varttuneen puuston koealoja, koska tavoitteena oli tulkita ennakkoraivaustarvetta nuorista ja varttuneista kasvatusmetsistä (keh.lk 02-03). Vaikka kohteita etsittiin yhteistyössä MhMtOy:n kanssa, niin mittausohjeen kriteerit täyttäviä raivaustarpeellisia koealoja löytyi vain 2 kpl. Näin ollen Ristijärveltä voidaan mallintaa vain taimikonhoidon ja harvennustarpeen kiireellisyyttä.

Ristijärvi							
Kehitysluokka ja pääpuulaji, kpl							
kl	yht	mä	ku	lepu			
T2	139	66	30	43			
02	208	133	32	43			
03	95	49	29	17			
yht	442	248	91	103			
Toimenpiteet					heti (10)	1-3 (11)	4-6 (12)
T2, taimikonhoito							
	139	25	22	13	6	73	
02, taimikonhoito (nmh)							
	41	13	10	7	0	11	
02, hakkuut							
	167	52	23	14	11	67	
02, ennakkoraivaus							
		2				87	78
03, hakkuut							
	95	19	11	8	6	51	
03, ennakkoraivaus							
		0				38	57
Yhteensä	442						

* raivaustarvetta ei arvioitu, jos ei ollut hakkuutarvetta (13 tai 14)

Taulukko 4. Ristijärven erillistulkintoihin käytettyjä suoratulkintakoealoja.

2.5.3 Puustotulkintojen ja laskentojen kehittäminen

Yhteistyö hankeosapuolten sekä puustotulkintaa ja laskentaa kehittävien yritysten kanssa on toiminut hyvin. Kehittämisessä aktiivinen ja avoin vuoropuhelu on keskeistä, jotta löydetään parhaimmat menetelmät, jotka toimisivat käytännössä. Jos jonkin menetelmän osalta tulee vastaan umpikuja, on osattava myöntää, että tämä ei onnistu. Kehittämisessä voidaan myös joutua toteamaan, ettei esimerkiksi kaukokartoitusaineistossa ole riittävästi selitysvoimaa kyseiselle ilmiölle. Se on myös hyvä tulos, jotta tiedetään etsiä muita ratkaisuja.

Tämä hanke oli laaja kokonaisuus, joka sisälsi ison joukon erilaisia puustotulkinnan ja metsälaskennan tehtäviä. Kehitettävät menetelmät olivat myös haastavia, koska kaikki ovat metsävaratiedon tuotannon kannalta uusia asioita eikä myöskään ollut varmuutta niiden soveltuvuudesta käytäntöön.

Hanke jäi aikataulusta jo kaukokartoitusaineistojen toimitusten viivästyessä useammalla kuukaudella. Tulkintatestit päästiin aloittamaan huhtikuussa 2024. Myös maastotyöt olivat odotettua haastavampia. Esimerkiksi eri-ikäisrakenteisten kohteiden löytämisessä oli vaikeuksia ja niiltä puukarttakoealojen mittaaminen oli myös erittäin työlästä. Kaikkia mittauksia ei pystytty tekemään 2023, vaan erillistestien mittaukset tehtiin seuraavana kesänä ja ne saatiin tulkitsijoille marraskuussa 2024. Tulkitsijoiden erillistestit pääsivät kunnolla liikkeelle vasta 2025 puolella.

Puustotulkinnat olivat myös itsessään haastavia ja laskentojen kehittäminen vaati tulkinta-aineistoja, joten ne pääsivät liikkeelle vasta kesäkuussa 2025. Tätä kirjoitettaessa viimeisiä testejä ja raportointeja tehdään edelleen. Sopimukset ovat kuitenkin voimassa vuoden 2025 loppuun, joten kaikki sovitut asiat tullaan viemään loppuun saakka. Hankkeen keskeiset tulokset ovat kuitenkin olleet käytettävissä ja niiden perusteella on tehty johtopäätökset menetelmien soveltuvuudesta tuotantoon.

Tästä voi oppia sen, että näin laajassa ja haastavassa hankkeessa tulee jättää väljyyttä aikatauluun ja varsinkin, jos edellinen vaihe vaikuttaa seuraavan aloittamiseen. Oleellisinta on, että kehittämistestit tehdään huolellisesti, jotta pystytään tekemään oikeanlaiset johtopäätökset.

2.6 DNSH-kriteerien toteutuminen

Alla on lyhyt kuvaus hankkeen vaikutuksista kuuteen arvioinnin kohteena olevaan ilmasto- ja ympäristötavoitteeseen (DNSH-kriteerit).

1. *Ilmastomuutoksen hillitseminen.* Laadukas ja kattava metsävaratieto edistää merkittävästi suunnittelua ja päätöksentekoa ilmastomuutoksen hillitsemiseksi.
2. *Ilmastomuutokseen sopeutuminen.* Laadukas ja kattava metsävaratieto edistää merkittävästi suunnittelua ja päätöksentekoa ilmastomuutokseen sopeutumisessa.
3. *Vesivarojen ja merten luonnonvarojen kestävä käyttö ja suojelu.* Laadukas ja kattava metsävaratieto edistää osaltaan myös vesiensuojelun suunnittelua.
4. *Kiertotalous, mukaan lukien jätteen synnyn ehkäisy ja kierrätys.* Metsävaratiedolla ei ole vaikutusta jätteen syntyyn.
5. *Ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen.* Metsävaratiedolla ei ole vaikutusta ympäristön pilaantumiseen.
6. *Biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojelu ja ennallistaminen.* Laadukas metsävara- ja luontotieto edistää merkittävästi monimuotoisuuden huomioon ottavaa suunnittelua ja päätöksentekoa.

3 Tulokset ja niiden arviointi

3.1 Tulosten esittely

Alla on tiivistetysti eri työpakettien toteutuminen alkuperäisiä tavoitteita vasten:

- TP1. Aineistot. Keilaus onnistui huonosta kesästä huolimatta suunnitelman mukaan. Ilmakuvista opittiin, että ei kannata käytännössä yrittää 10 cm

kuvia jo pelkästään sääriskin takia. Nyttemmin on tullut lentokoneiden vaikeudeksi myös GNSS-häirintä.

- TP2. Puustotulkinta ja laskennat. Kaikki tähän pakettiin kuuluvat tulkintatehtävät on toteutettu vaikkakin aikataulusta jäljessä. Viimeiset laskentatestit toimitetaan tänä vuonna. Laskennoista jäi ostoresurssien loppumisen takia testaamatta suoratulkinta laskentajärjestelmän toimenpidesimuloinnissa.
- TP3. Erityispuut. Tähän liittyvät tehtävät on myös tehty. Koska aikataulusta oltiin jäljessä, maastoevaluointiin jäi valitettavan vähän aikaa, mutta joitakin päiviä kuitenkin.
- TP4. Metsän rakenne. Tämä liittyy laskentoihin ja ostoresurssien loppumisen takia jäi kokonaan toteuttamatta. Aihetta on kuitenkin mietitty ja se on tärkeä, joten tähän teemaan palataan sopivassa yhteydessä mahdollisesti jo 2026 puolella.
- TP5. Kasvupaikkatiedot. Yhden ajankohdan tulkinta on testattu, mutta kahden ajankohdan laser ja pituusbonitointi on vielä kesken, mutta tullaan tekemään loppuun tänä vuonna.
- TP6. Hiililaskenta. Tämä on pilotoitu ja määritelty. Toimittajalla on tähän valmiit laskentatyökalut, mutta ei ole vielä päätöksiä, viedäänkö hiililaskenta osaksi metsävaratiedon tuotantoa.
- TP7. Viestintä ja sidosryhmät. Yleisesti hanketta on esitelty SMK:n intranetissä sekä useissa sisäisissä ja ulkoisissa kokouksissa ja tilaisuuksissa. Alla on lueteltu artikkeleita ja tilaisuuksia matkan varrelta.
 - Blogi SMK:n Metsään-lehdessä metsävaratiedosta ja sen kehittämisestä 7.9.2023.
 - Esitys (digitaaliset kaksoset osa 2) ja paneelikeskustelu (loppupaneeli) GeoForum Summitin asiantuntijaseminaarissa 31.10.2023.
 - Haastattelu ja artikkeli Metsälehti Makasiinissa (8/2023) metsävaratiedosta ja sen kehittämisestä 21.12.2023.
 - Esitys Metsätehon puuntuotannon kehittämisryhmälle 12.3.2024.
 - Tilannekatsaus KALLIO-yhteistyöelimen kokouksessa 18.3.2024.
 - Esitys CSC:n Digital Twins: Earth, Forest, Water -seminaarissa 27.5.2024.
 - Esitys MML:n Maanmittauspäivillä 6.6.2024.
 - Esitys DigiFor Workshopissa (Skogsstyrelsen, Latvian ja Ukrainan metsähallinto) 18.6.2024.
 - Esitys PV:n ja MML:n yhteisessä laserkeilauswebinaarissa 5.9.2024.
 - Esitys GeoForum Summitissa 8.10.2024.
 - Esitys MML:n ilmakuvatiimin vierailulla SMK:ssa 10.10.2024.
 - Esitys SMK-StoraEnso kokouksessa 4.11.2024.

- Esitys HAMKin opiskelijoille metsävaratiedosta ja sen kehittämisestä 25.11.2024.
- Esitys SMK-Arbonaut kokouksessa seuraavan inventointikierroksen kehittämistarpeista. 28.11.2024.
- SMK-Luke kokous, yksinpuintulkinnan kehittäminen 28.1.2025.
- Esitys KALLIO2-suunnittelun johtoryhmälle 26.3.2025.
- MetsäKaksosen tuloswebinaari. 3 tunnin tilaisuus, useita hankkeeseen liittyviä esiintyjiä laajalle osallistujajoukolle 4.6.2025.
- SMK-Metsä Group-Field kokous. Aiheena mm. hankkeeseen liittyvä pituusbonitointi 24.6.2025.
- Esitys KestoTäsmä-hankkeen seminaarissa 20.8.2025.
- Esitys MTK-MHYP-SMK Kallio2-kokouksessa 2.9.2025.
- SMK-Afry-kokous, keskustelu tulevan mv-tiedon uudistuksista 4.9.2025.
- SMK-Field-kokous, keskustelu tulevan mv-tiedon uudistuksista 19.9.2025.
- Metsä- ja luontotiedon tuotannon uudet teknologiat ja innovaatiot-seminaari 22.10.2025.
- MMM:n RRF-kokonaisuuden päätöswebinaari 26.11.2025.
- TP8. Kaukokartoitusseksit. Hankkeen kanssa samaan aikaan valmisteltiin KALLIO2-ohjelmaa MML:n vetämänä. Siinä päästiin hyvään tulokseen ja sopimus seuraavasta keilaus- ja kuvauskierroksesta on allekirjoitettu.
- TP9. Metsävara- ja luontotietomalli. Uusiin tulkintoihin liittyen määriteltiin myös niiden sisältöä ja uuden yksinpuin- ja semi-yksinpuin tietomallia. Hankkeessa oli mahdollista kehittää myös laskentaa, joka on jo pykälää lähempänä tietojärjestelmiä. Uudet laskennat vaativat myös tietomallien määrittelyä ja miten ne liittyvät muuhun käytettävään tietoon.

Rahoitusohjelman edellyttämät hankkeen ilmasto- ja monimuotoisuusvaikutukset on kuvattu lyhyesti edeltävässä kappaleessa 2.6. DNSH-kriteerien toteutuminen. Seuraavissa kappaleissa on esitelty tarkemmin keskeisten tehtävien tuloksia.

3.1.1 Kaukokartoitusseksien määrittely

Hanke liittyi kaukokartoitusaineistojen osalta tiiviisti laajempaan KALLIO2-ohjelman määrittelyyn. Tässä keskityttiin erityisesti metsien uusien inventointimenetelmien vaatimiin keilaus- ja kuvausspekseihin, jotka sovitettiin KALLIO2:seen ohjelmassa mukana olevien organisaatioiden yhteistyönä. Valtakunnallinen metsävaratiedon tuotanto on laserkeilauksen ja ilmakuvauksen keskeisimpiä käyttökohteita.

KALLIO2-ohjelman suunnittelu käynnistettiin keväällä 2024. Määrittelytyöhön otettiin mukaan 1. KALLIO-kierroksen sopimuskumppanit Maanmittauslaitos, Suomen Metsäkeskus, Metsähallitus, Ruokavirasto ja Suomen ympäristökeskus. Näiden lisäksi määrittelytyöhön otettiin mukaan 7 muuta organisaatiota, jotka

olivat alustavasti ilmaisseet kiinnostuksensa osallistua seuraavaan KALLIO-ohjelmaan sopimuskumppanina. Nämä organisaatiot olivat: Geologian tutkimuskeskus (GTK), Luonnonvarakeskus (Luke), Metsäteho, Museovirasto, Puolustusvoimat, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) sekä Väylävirasto.

Määrittelytyötä johti Maanmittauslaitos asiantuntijaryhmässä, jossa oli mukana edustajat kaikista edellä mainituista organisaatioista. Asiantuntijaryhmä loi esitykset KALLIO2-ohjelmista, jotka hyväksyttiin organisaatioiden johtajista koostuvassa johtoryhmässä. Määrittelytyö aloitettiin toukokuussa 2024 järjestäytymällä ja asettamalla tavoitteet.

Asiantuntijaryhmän tavoitteet:

- Ohjelmien muodostaminen
 - Tarpeiden yhteensovittaminen
 - Ilmakuvausparametrit
 - Laserkeilausparametrit
 - Sykli ja tuotantoalueiden jaot
- Kustannushyötyanalyysi

Johtoryhmän tavoitteet:

- KALLIO-sopimuksen päivittäminen
 - Päätös prosessointialustan liittämisestä KALLIO-sopimukseen
- Ohjelmien kustannusjaon määrittely
- Päätös seuraavien ohjelmien käynnistämisestä

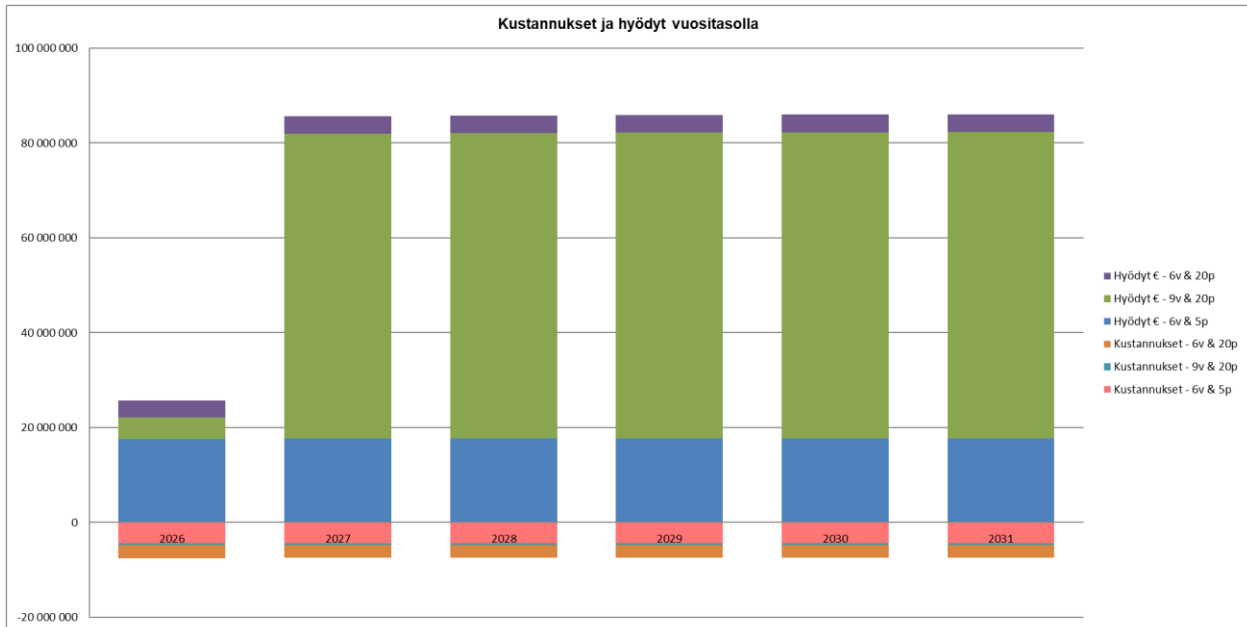
Aikataulutavoitteena oli saada aineistotarpeiden yhteensovittaminen ja kustannushyötyanalyysi valmiiksi vuoden 2024 loppuun mennessä. Alkuperäisenä tavoitteena oli saada uusien ohjelmien parametrit ja ohjelmavaihtoehdot johtoryhmälle päätettäväksi maaliskuuhun 2025 mennessä, jolloin organisaatiot pystyisivät päättämään osallistumisestaan tuleviin ohjelmiin huhtikuun 2025 aikana. KALLIO-yhteistyötä tehdään pohjautuen yhteistyösopimukseen ja tarkoituksena oli päästä allekirjoittamaan se viimeistään toukokuussa 2025.

Aikataulullisesti ohjelman suunnittelua ei pystytty viemään suunnitellussa aikataulussa läpi. Kustannushyötyanalyysi saatiin tuotettua vuoden 2024 loppuun mennessä, mutta parametrien ja ohjelmavaihtoehtojen sekä kustannusjaon määrittelyssä kesti arvioitua pidempään. Lopullinen päätös KALLIO2-ohjelmasta ja mukaan lähtevistä organisaatioista saatiin tehtyä vasta 26.6.2025.

Kustannushyötyanalyysi

Kustannushyötyanalyysin perusteella saavutetaan vuositasolla yli 80 milj. euron hyödyt alle 5 milj. euron kustannuksilla (kuva 6), kun laserkeilausohjelmana on yhdeksän vuoden sykli ja laseraineiston pistetiheys 20 p/m². Suurimpia hyötyjä

muodostuu mm. metsien inventoinnin paremmasta laadusta ja sen vaikutuksesta tiedontuotantoon ja aineistojen hyödyntämiseen sekä työn vähentymisestä maastotietojen tuotannossa ja aineistojen laadun parantumisesta.



Kuva 6. Kustannushyötyanalyysi, missä on eriteltynä hyödyt ja kustannukset eri vaihtoehdoilla.

3.1.2 Puustotulkinta

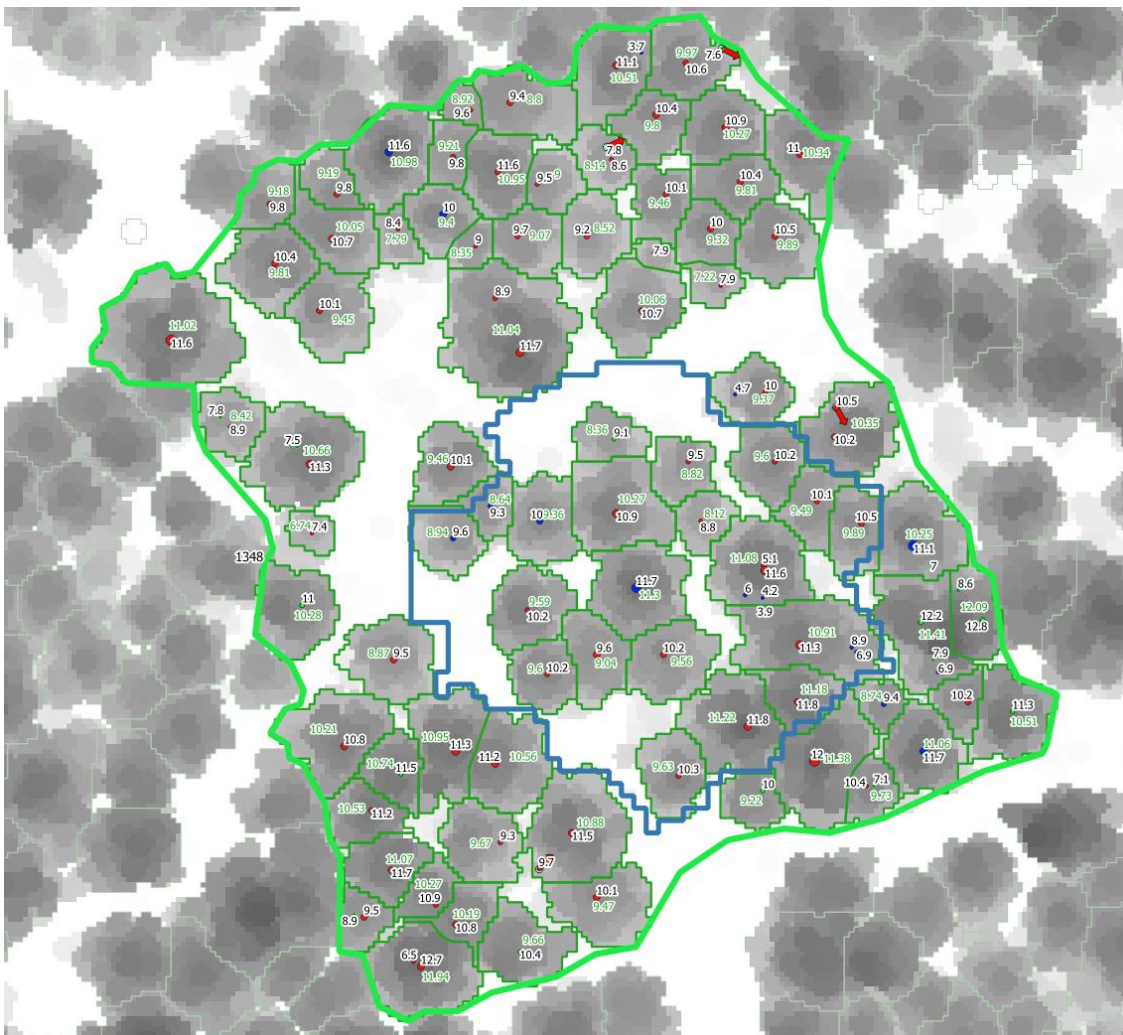
Puustotulkintamenetelminä olivat aluepohjainen tulkinta (ABA, Area-Based Approach) sekä Ristijärvellä ns. "aito" yksinpuintulkinta (ITD, Individual Tree Detection) ja Heinävedellä ns. semi-yksinpuintulkinta (semi-ITC, semi-Individual Tree Crown approach).

Taimikot tulkitaan edelleen ABA:lla, mutta kasvatus- ja uudistuskypsät metsät joko ITD:llä tai semi-ITC:llä. Varttuneen taimikon ja nuoren kasvatusmetsän rajana pidetään 7 metriä ja rajanveto tehdään laserkorkeudella. Kokemuksen myötä täsmentyy kuinka pieniin puustoihin yksittäisten latvusten tulkinnessa kannattaa mennä ja se riippuu myös puuston tiheydestä. Koealamittauksiin on kehitetty uusi kiinteäsäteinen puukarttakoeala. Tältä säteeltään 9 m koealalta paikannetaan myös puut ja se on pienempänä nopeampi mitata kuin tavallinen puukarttakoeala. Nuoriin kasvatusmetsiin mitattavia koealoja voidaan soveltaa sekä aluepohjaiseen että latvustason tulkintaan, kun haetaan tarkempaa rajaa eri menetelmille.

ITD ei tunnista pienempiä puita. Vallitsevat isommat puut saadaan tarkemmin, mutta tarvitaan myös aluepohjainen tulkinta, jolla voidaan kalibroida ITD:n harhaa (aliarviota) pienempien puiden osalta kuviotietojen laskennassa. Semi-ITC on periaatteessa sama kuin nykyinen aluepohjainen k:n lähimmän naapurin

menetelmä, mutta yksikkönä on latvus. Siinä tulkitaan laserilta segmentoituja latvuksia, joilla on isoin puu, mutta alla tai vieressä voi olla 0-n pienempää puuta, jotka eivät muodosta omia segmenttejä. Isommat puut saadaan tarkemmin, mutta samalla voidaan tuottaa myös pienten puustojen ositteet kuvioille. Semi-ITC on testien perusteella lupaavampi vaihtoehto, koska se ei lähtökohtaisesti tarvitse pienten puustojen kalibrointia ABA:lla, kuten ITD-menetelmä.

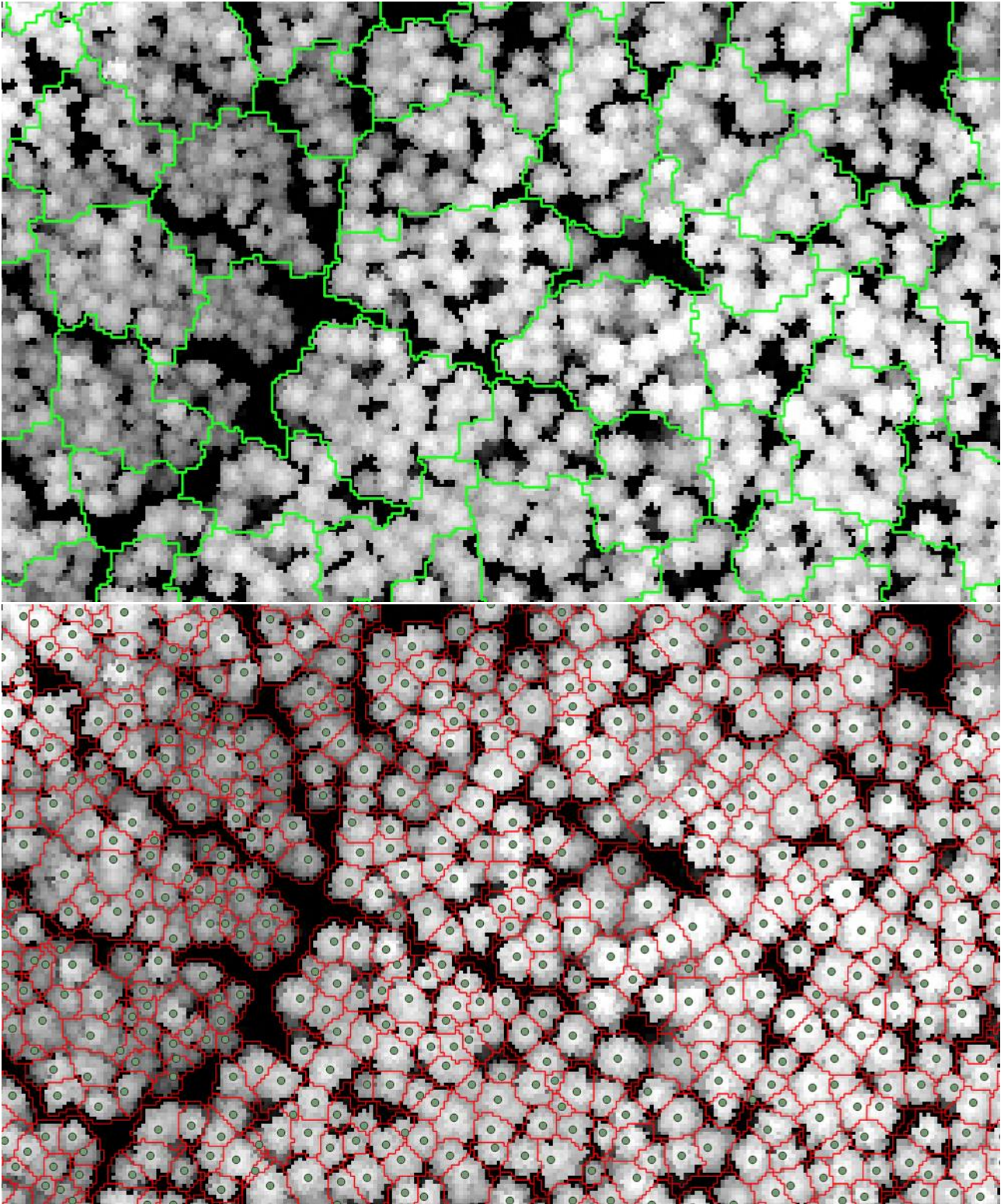
Kuvassa 7 on esitetty puukarttakoeala, missä on segmentoitu yksittäisiä latvuksia ja havainnollistamiseksi on rajattu myös yksi ABA-tulkinnan koeala, mikä vastaa nykyisen latvusrajatun tulkintayksikön pinta-alaa.



Kuva 7. Puukarttakoeala, joka on 1000-2000 m² (tässä 1348 m²). CHM:n päällä ovat latvussegmentit ja mitatut puut (pisteinä), joilla on pituus ja laserkorkeus (n. 10 m puustoa). Latvussegmentissä on 1-n puuta (uusi tulkintayksikkö). Sinisellä on rajattu yksi aluepohjaisen tulkinnan koeala (238 m²), joka vastaa nykytulkintayksikköä (n. 250 m²).

Kuvassa 8 on esitetty havainnollinen kuvapari saman alueen aluepohjaisista latvusrajatuista tulkintayksiköistä ja latvussegmenteistä. Jälkimmäisestä voidaan laskea myös aidommat puustojakaumat kuvioille yksittäisistä puista. Yleisesti voi

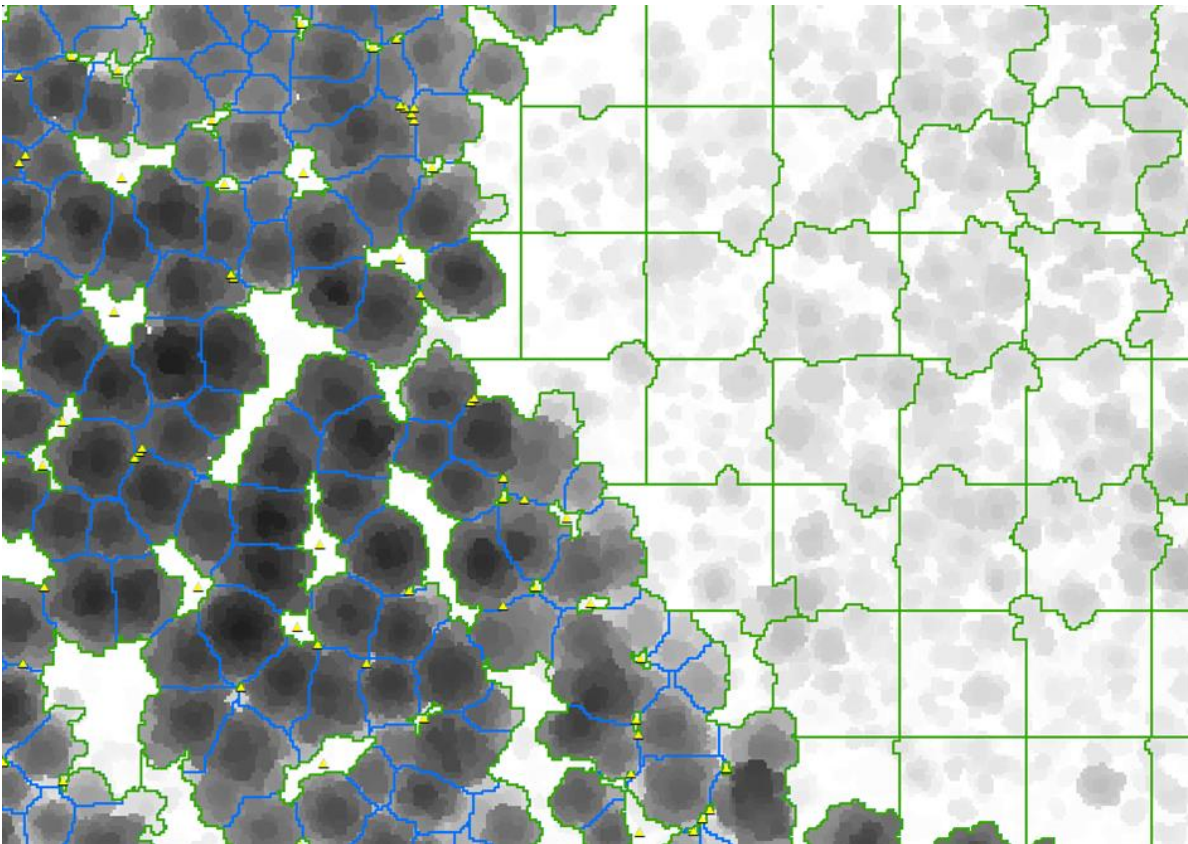
todeta, että mitä pienempään yksikköön mennään, sen enempi korostuu onnistuneen segmentoinnin merkitys.



Kuva 8. Noin 15-20 m puita CHM:n päällä. Ylemmässä on aluepohjaisia yksiköitä, joilta tulkitaan puustotiedot n. 250 m² (10-20 puuta) keskiarvona. Alemmassa on n. 10-50 m² latvussegmenttejä, joilta tulkitaan puustotiedot latvuksittain. Lisäksi on esitetty kunkin latvuksen korkein piste.

Tulevaa metsävaratiedon tuotantoa ajatellen kannattaa ainakin ensivaiheessa tilata tulkitsijalta kattavasti nykyinen aluepohjainen tulkinta sekä uusi latvustulkinta ja tilaajan laskentajärjestelmään on kehitetty kuviopuuston laskenta, missä on sekä latvuksia ja aluepohjaisia yksiköitä. Tulevaisuudessa on mahdollista tilata tulkitsijalta suoraan myös alla olevan kuvan 9 mukainen tulkinta, missä on yhdistetty eri menetelmät samaan tulkintatuotteeseen. Tässä yhteydessä on puhuttu myös ns. hybridimenetelmästä.

Aluksi on kuitenkin parempi selvittää ja hankkia käytännön kokemusta esimerkiksi siitä, kuinka pieniin puustoihin latvustulkinta soveltuu ja tarvitaanko laskennassa kalibrointia myös varttuneemman puuston kuvioilla oleville pienemmille puille. Jos semi-yksinpuintulkinta toimii, miltä näissä testeissä vaikuttaa, niin kalibrointia aluepohjaisella ei tarvita ja alla oleva hybridituote olisi mahdollinen. Tällöin aluepohjaisessa tulkinnassa tarvittaisiin vain taimikkomallit ja niiden tulkinta. Lisäksi jos aluepohjainen taimikkotulkinta ja varttuneempien puiden latvustulkinta yhdistettäisiin tulevaisuudessa jo tulkintavaiheessa, niin yksi hyöty olisi se, että eri tulkinnat istuisivat saumattomammin yhteen taimikoiden ja varttuneemman puuston rajalla.



Kuva 9. Esimerkki yksinpuin ja aluepohjaisen hybridistä. Varttuneempaa puustoa (sin.) ja taimikkoa (vihr.). Tässä taimikoiden pohjana on 8 x 8 m² ruudut, joiden reunoja on täsmennetty latvusrajauksilla. Ns. tyhjien yksiköiden (kelt.) pienet alueet eivät säily, vaan ne liitetään viereisiin latvuksiin.

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty Heinäveden tulkinnan tilastolliset esimerkkivertailut (RMSE, Root Mean Square Error, eli keskivirhe ja systemaattinen virhe eli harha). Puustotulkinnan mallinnuksen lähtökohtana on minimoida harhaa ja keskivirhettä, joista harha ei ole näissä esimerkeissä tilastollisesti merkitsevä. Vertailuun on valittu keskeiset puustotunnukset kokonaispuustolle ja puulajeittain. Lisäksi eri tunnusten keskivirheille on laskettu vertailupisteet, jotta voidaan tarkastella tulkintaa kaikkien tunnusten yli. Vertailun maksimipisteet on valittu subjektiivisesti sen mukaan, kuinka merkittävä tunnus on arvioitu olevan metsätalouden näkökulmasta. Kunkin tunnuksen pienin keskivirhe saa vertailun maksimipisteen ja muut pisteytetään suhteessa pienimpään keskivirheeseen. Tämän jälkeen voidaan laskea vertailupisteet yhteensä kaikille puustotunnuksille.

Taulukossa 5 on vertailtu koealatason tarkkuuksia nykyisellä 5 p/m² ja uudella 20 p/m² aluepohjaisella tulkinnalla. Tästä havaitaan, että jo pelkästään pistetiheyden kasvatus pienentää ABA:n keskivirheitä käytetyn pisteytyksen mukaan 6 %.

Vertailu ei ole täysin validi, koska tulkinnat on tehnyt eri tulkitsijat, mutta molemmat ovat tehneet metsävaratiedon tuotantoa jo sen alusta lähtien.

Heinävesi	Maks. pist.	3	4	4	3	2	3	3	2	2	3	3	2	1	2	2	1	40
koealataso	Min RMSE%	15,70	14,71	12,38	6,47	26,43	24,44	14,58	6,27	23,47	21,73	20,43	16,81	26,74	26,22	19,24	10,25	
Malli	Tunnus	V	G	D	H	V_MA	G_MA	D_MA	H_MA	V_KU	G_KU	D_KU	H_KU	V_LP	G_LP	D_LP	H_LP	Pist.yht.
Tuotanto_ABA (5p)	Koealoja	2817				1199				1790				1133				
Eri tulkitsija kuin 20p	Ka_tulkinta	244,7	23,9	23,7	20,9	178,1	16,9	25,0	21,5	179,2	17,3	22,7	19,1	99,3	9,8	20,6	20,8	
	Ka_mittaus	247,7	24,1	23,8	20,9	186,7	17,6	25,4	21,6	188,3	18,3	23,2	19,5	106,3	10,5	21,3	21,2	
	RMSE	41,5	3,8	3,0	1,4	49,4	4,5	4,3	1,4	48,4	4,4	4,9	3,4	28,4	2,9	4,6	2,6	
	RMSE%	16,74	15,75	12,73	6,47	26,43	25,51	16,92	6,45	25,72	24,22	21,22	17,34	26,74	27,87	21,44	12,02	
	Harha	3,1	0,3	0,1	0,1	8,6	0,7	0,4	0,2	9,2	1,0	0,5	0,4	7,0	0,7	0,7	0,4	
	Harha%	1,3	1,1	0,5	0,3	4,6	4,0	1,4	0,8	4,9	5,6	2,1	1,9	6,6	6,2	3,3	2,0	
	Pisteet	2,81	3,74	3,89	3,00	2,00	2,87	2,59	1,94	1,83	2,69	2,89	1,94	1,00	1,88	1,79	0,85	37,72
Metsä2_ABA (20p)	Koealoja	3444				1574				2109				1364				
ei ER-puukarttoja	Ka_tulkinta	233,6	23,2	23,0	20,4	165,5	16,0	24,5	21,0	176,5	17,4	22,0	18,6	96,1	9,7	20,0	20,2	
	Ka_mittaus	235,9	23,4	23,1	20,5	176,9	17,0	24,5	21,0	179,0	17,7	22,4	18,9	102,4	10,2	20,3	20,5	
	RMSE	37,1	3,4	2,9	1,3	46,9	4,2	3,6	1,3	42,0	3,9	4,6	3,2	27,7	2,7	3,9	2,1	
	RMSE%	15,70	14,71	12,38	6,51	26,52	24,44	14,58	6,27	23,47	21,73	20,43	16,81	27,09	26,22	19,24	10,25	
	Harha	2,3	0,2	0,0	0,0	11,4	1,0	0,0	0,0	2,5	0,3	0,5	0,3	6,3	0,6	0,4	0,3	
	Harha%	1,0	0,7	0,2	0,1	6,4	6,1	0,1	0,0	1,4	1,9	2,0	1,6	6,1	5,6	1,8	1,5	
yht. n. 6 % parannus	Pisteet	3,00	4,00	4,00	2,98	1,99	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	0,99	2,00	2,00	1,00	39,96

Taulukko 5. Aluepohjaisen tulkinnan koealatason leave one out-analyysin tulosten yhteenveto. Jotta käytännön kannalta merkityksettömän pienet puulajiosuudet eivät vaikuta, niin puulajien vertailusta on poistettu koealat, joilla mitattu puulajitilavuus on alle 10 % kokonaistilavuudesta. Varsinaiset tulkintakoealat on generoitu isommista puukarttakoealoista.

Taulukossa 6 on vertailtu tuloksia laatukontrollikuvioilla. Ne ovat pienkuvioita, joille on tehty maastomittaus systemaattisella koealaotannalla ja vertailussa on huomioitu otantavirheen poisto. Laatukontrollit on valittu ns. normi talousmetsistä ja ne sisältävät kasvatus- ja uudistuskypsiä metsiä erilaisilla puulajiosuuksilla.

Vertailussa on mukana myös semi-ITC:n tulokset, joista huomataan, että erityisesti männyn keskivirheet ovat merkittävästi pienemmät, kuin aluepohjaisen tulkinnan vastaavat. Kaikkien tunnusten yli semi-ITC:n keskivirheet ovat 15 % pienemmät kuin ABA:n (5 p/m²). Koska laatukontrollikuviot ovat tavallisia tasaikäisrakenteisia metsiä, ei voida kuitenkaan tehdä suoraan johtopäätöksiä, miten yksittäisten latvusten tulkinta toimii metsissä, jotka ovat puuston kooltaan ja puulajeiltaan vaihtelevampia.

Heinävesi	Maks. pist.	3	4	4	3	2	3	3	2	2	3	3	2	1	2	2	1	40
laadunvarmistuskuviot	Min RMSE%	9,4	10,3	6,9	3,3	11,0	10,9	7,0	1,5	17,7	15,6	8,3	5,2	10,1	12,2	8,7	2,8	
Malli	Tunnus	V	G	D	H	V_MA	G_MA	D_MA	H_MA	V_KU	G_KU	D_KU	H_KU	V_LP	G_LP	D_LP	H_LP	Pist.yht.
Tuotanto_ABA (5p)	kuvioita	48				20				28				19				
Eri tulkitsija kuin 20p	ka_tulkinta	214,3	22,0	22,1	19,8	156,1	15,6	23,5	20,6	160,8	16,4	21,3	17,8	97,6	10,0	18,6	19,7	
	ka_mittaus	211,4	22,0	21,8	19,7	162,6	16,5	23,4	20,4	162,3	17,0	20,9	17,6	102,8	10,4	18,6	20,0	
	RMSE	24,6	2,6	1,7	0,8	30,8	3,1	1,6	0,5	30,1	2,8	2,1	1,7	12,9	1,4	1,8	0,7	
	RMSE%	11,6	11,9	7,9	4,0	18,9	19,0	7,0	2,2	18,6	16,3	9,9	9,6	12,6	13,6	9,9	3,6	
	Harha	2,9	0,0	0,2	0,1	-6,5	-0,9	0,0	0,2	-1,5	-0,6	0,4	0,2	-5,2	-0,4	-0,1	-0,3	
	Harha%	1,4	0,1	1,1	0,8	-4,0	-5,5	0,2	0,9	-0,9	-3,4	1,7	1,0	-5,1	-3,9	-0,3	-1,6	
	Pisteet	2,43	3,46	3,49	2,48	1,16	1,72	3,00	1,36	1,90	2,87	2,52	1,08	0,80	1,79	1,76	0,78	32,61
Metsä2_ABA (20p)	kuvioita	48				20				28				19				
Vastaa 5p tuotantoa	ka_tulkinta	213,1	21,9	22,1	19,9	156,5	15,7	23,5	20,5	158,6	16,1	21,4	18,0	100,2	10,3	19,0	20,0	
(mukana ei ER-puukarttoja)	ka_mittattu	213,4	22,1	21,8	19,8	166,7	16,7	23,5	20,6	162,4	16,9	20,9	17,6	103,0	10,4	18,7	20,0	
	RMSE	20,0	2,3	1,7	0,7	27,8	2,6	2,0	0,8	28,8	2,6	2,2	1,2	10,4	1,3	2,2	0,6	
	RMSE%	9,4	10,3	7,7	3,7	16,6	15,3	8,6	3,6	17,7	15,6	10,4	6,7	10,1	12,2	11,7	2,8	
	Harha	-0,3	-0,2	0,3	0,2	-10,2	-1,0	0,0	-0,1	-3,8	-0,8	0,5	0,4	-2,8	-0,1	0,3	0,0	
	Harha%	-0,1	-1,1	1,3	0,9	-6,1	-6,0	0,2	-0,6	-2,3	-5,0	2,2	2,3	-2,7	-1,3	1,5	0,0	
yht. n. 5 % parannus	Pisteet	3,00	4,00	3,58	2,68	1,33	2,14	2,44	0,83	2,00	3,00	2,39	1,55	1,00	2,00	1,49	1,00	34,43
Metsä2_semi_ITD (20p)	kuvioita	48				20				28				19				
Vastaa 5p tuotantoa	ka_tulkinta	214,5	22,0	21,4	19,7	162,9	16,3	22,7	20,4	155,8	15,8	20,7	17,8	96,4	9,8	17,8	19,3	
(mukana ei ER-puukarttoja)	ka_mittattu	213,4	22,1	21,8	19,8	166,7	16,7	23,5	20,6	162,4	16,9	20,9	17,6	103,0	10,4	18,7	20,0	
	RMSE	21,3	2,6	1,5	0,7	18,3	1,8	1,7	0,3	29,4	3,0	1,7	0,9	15,0	1,8	1,6	0,9	
	RMSE%	10,0	11,6	6,9	3,3	11,0	10,9	7,3	1,5	18,1	17,6	8,3	5,2	14,6	17,4	8,7	4,7	
	Harha	1,1	-0,1	-0,4	-0,1	-3,8	-0,4	-0,8	-0,2	-6,6	-1,2	-0,2	0,2	-6,6	-0,6	-0,8	-0,7	
	Harha%	0,5	-0,3	-1,8	-0,6	-2,3	-2,6	-3,2	-1,1	-4,1	-7,0	-0,9	1,2	-6,4	-5,7	-4,4	-3,5	
yht. n. 15 % parannus	Pisteet	2,82	3,55	4,00	3,00	2,00	3,00	2,88	2,00	1,96	2,66	3,00	2,00	0,69	1,40	2,00	0,60	37,55

Taulukko 6. ABA (5 ja 20 p/m²) ja semi-ITC tulkintojen laatukontrollikuvioiden tulosten yhteenveto. Koska maastomittaus on tehty systemaattisella koelaotannalla, virhetunnuksille on tehty otantavirheen poisto.

Ristijärven vastaavaa vertailua ei ole esitetty tässä, koska ns. aito yksinpuintulkinta on harhainen pienempien puiden osalta, eikä aiemmin mainittua aluepohjaisella kalibrointia ollut vielä käytettävissä. Lisäksi Ristijärvellä käytettiin ensimmäistä kertaa ilmakuvina ns. tosiortoja alkuperäisillä sävyillä ja se saattoi osaltaan vaikuttaa siihen, että esim. kuusen tunnuksilla oli isommat virheet kuin tavallisesti. Eli on todennäköisesti parempi käyttää edelleen ns. level02-ilmakuvia, jotka ovat toimineet paremmin nykyisessäkin tulkinnassa. Ilmakuvapiirteillä on merkittävä osuus puustotulkinnan mallinnuksessa nimenomaan puulajitunnistuksessa. Puustotulkinnosta löytyy lisää tietoa tulkitsijoiden inventointiraporteista, jotka ovat tämän raportin liitteinä.

Mainittakoon vielä, että puuston ikää ei ole otettu mukaan vertailuihin. Ikä on tulkinnan epäluotettavin tunnus, koska se ei ole puuston näkyvä dimensio. Yleensä

ikä korreloi suhteellisen hyvin puuston koon kanssa, mutta joskus myös pieni puusto voi olla vanhaa tai päinvastoin. Ikä ei ole käytännön metsätaloudessa yhtä merkittävä tunnus, eikä sillä ole niin isoa merkitystä enää nykyisissä kasvumalleissakaan. Ikäkin estimoidaan puustotulkinnassa ja se voi edelleen vaikuttaa osaltaan harvennusten tai uudistushakkuiden toimenpide-ehdotusten simuloinnissa, mutta siinäkin pääpaino on puuston koolla (läpimitta) ja tiheydellä (pohjapinta-ala).

3.1.3 Erillistulkinnat

Keskeisimmät erillistulkinnat olivat ns. erityispuiden tulkinta, toimenpidetarpeen suoratulkinta sekä kasvupaikkatietojen tulkinta, missä pituusbonitointi vaikuttaa lupaavalta ja kannattaa selvittää pidemmälle. Näiden lisäksi tulkitsijat tekivät tarkasteluja siitä, onko eri-ikäisrakenteisista puukarttakoealoista merkittävää lisähyötyä tulkinnassa sekä miten pistetiheys ja mahdollinen koealojen lisäys vaikuttaa taimikoiden tulkintaan. Tulkitsijoiden erillistestien raporteissa on yksityiskohtaisempaa tietoa näistä testeistä.

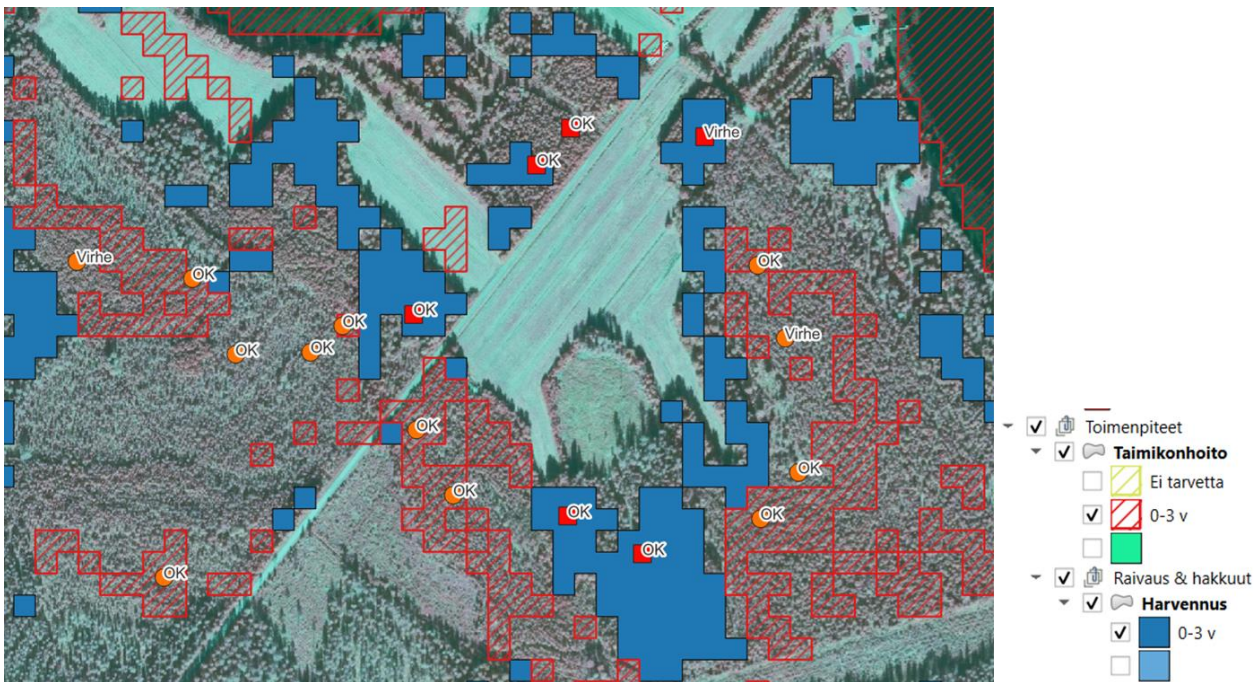
Suoratulkintoja ja erityispuiden tulkintoja käytiin evaluoimassa myös maastossa. Kokeneen asiantuntijan tekemänä havaintoja kertyi kohtalaisen hyvin jo muutamassa päivässä. Tarkastetuilta kohteilta otettiin myös valokuvia, jotta tulkitsijallekin tuli parempi käsitys mallien toimivuudesta ja missä on parannettavaa. Suoratulkintojen osalta kerättiin eri tyyppisistä kohteista havaintopisteitä, joissa arvioitiin silmävaraisesti toimenpiteen kiireellisyyttä ja verrattiin vastaavaan tulkinnan tuottamaan luokitukseen. Kuolleiden puiden ja haapojen osalta mukana piti olla myös tarkkuusGPS, jotta metsän sisällä voitiin varmistua, että kyseessä oli sama puu, mikä oli tulkittu kuolleeksi tai haavaksi. Lisäksi tallennettiin matkan varrelta myös erityispuita, jotka eivät olleet luokittuneet tulkinnassa kuolleeksi tai haavaksi. SMK räätälöi maastotarkasteluun soveltuvan QField-sovelluksen ja tiedonkeruulomakkeen. Rajallisen ajan takia ei pystytty tekemään mitään tilastollisesti pätevää otantaa, vaan maastokohteiden valinta perustui asiantuntijan subjektiiviseen ennakkovalintaan erilaisista metsistä.

Tämä oli vasta ensimmäinen wall-to-wall tulkinta aiheesta ns. oikeissa metsissä ja tulkintamalleissa on varmasti edelleen kehitettävää ja kokemusta kertyy, kun tulkitaan muitakin alueita. Yleishavaintona voi todeta otettujen valokuvienkin perusteella, että kaikkia mahdollisia tapauksia löytyy maan ja taivaan väliltä.

Suoratulkinta

Ristijärvellä suoratulkitut olivat taimikonhoito- tai harvennuskohteita. Kiireellisyys oli esitetty kahdessa luokassa, missä heti ja 1-3 vuotta muodostivat luokan on

tarve ja muut kiireellisyydet (4-6 v., 7-10 v. ja ei toimenpidetarvetta) olivat luokkaa ei tarvetta. Tulkintatulokset oli esitetty 16 m hilaruutuina. Maastotarkastuspisteitä kertyi 116 kpl, joista varttuneissa taimikoissa 62 kpl ja kasvatusmetsissä 54 kpl. Maastossa varmistettiin, ettei puustoa oltu käsitelty keilauksen jälkeen ja epävarmoja kohteita ei arvioitu. Kuvissa 10-11 on esitetty havaintoja maastosta ja taulukossa 7 on yhteenveto.



Kuva 10. Suoratulkintakohteita ja maastotarkastuspisteitä.



Kuva 11. Suoratulkintaa sekä taimikonhoito- ja harvennusosumia maastossa.

Luokka 1	Maastossa todettu tarve + tulkittu toimenpide. Osuma.
Luokka 2	Maastossa todettu tarve + ei tulkittua toimenpidettä. Virhe.
Luokka 3	Maasto, ei toimenpidetarvetta + tulkittu toimenpide. Virhe
Luokka 4	Maasto, ei toimenpidetarvetta + ei tulkittua toimenpidettä. Osuma

Tyyppi 7 Taimikonhoito		kohdetta, kpl	% osuus
Luokka 1		25	40,3
Luokka 2		5	8,1
Luokka 3		17	27,4
Luokka 4		15	24,2
yhteensä		62	100
Maastohavainto ja tulkinta sama (luokat 1 ja 4)			64,5
Maastohavainto ja tulkinta eri (luokat 2 ja 3)			35,5
yhteensä			100

Tyyppi 2 Harvennus		kohdetta	% osuus
Luokka 1		29	53,7
Luokka 2		8	14,8
Luokka 3		7	13,0
Luokka 4		10	18,5
yhteensä		54	100,0
Maastohavainto ja tulkinta sama (luokat 1 ja 4)			72,2
Maastohavainto ja tulkinta eri (luokat 2 ja 3)			27,8
yhteensä			100,0

Taimikonhoito ja harvennus		kohdetta	% osuus
Luokka 1		54	46,6
Luokka 2		13	11,2
Luokka 3		24	20,7
Luokka 4		25	21,6
yhteensä		116	100,0
Maastohavainto ja tulkinta sama (luokat 1 ja 4)			68,1
Maastohavainto ja tulkinta eri (luokat 2 ja 3)			31,9
yhteensä			100,0

Taulukko 7. Luokittelu ja tulokset: taimikonhoito, harvennus ja yhteensä.

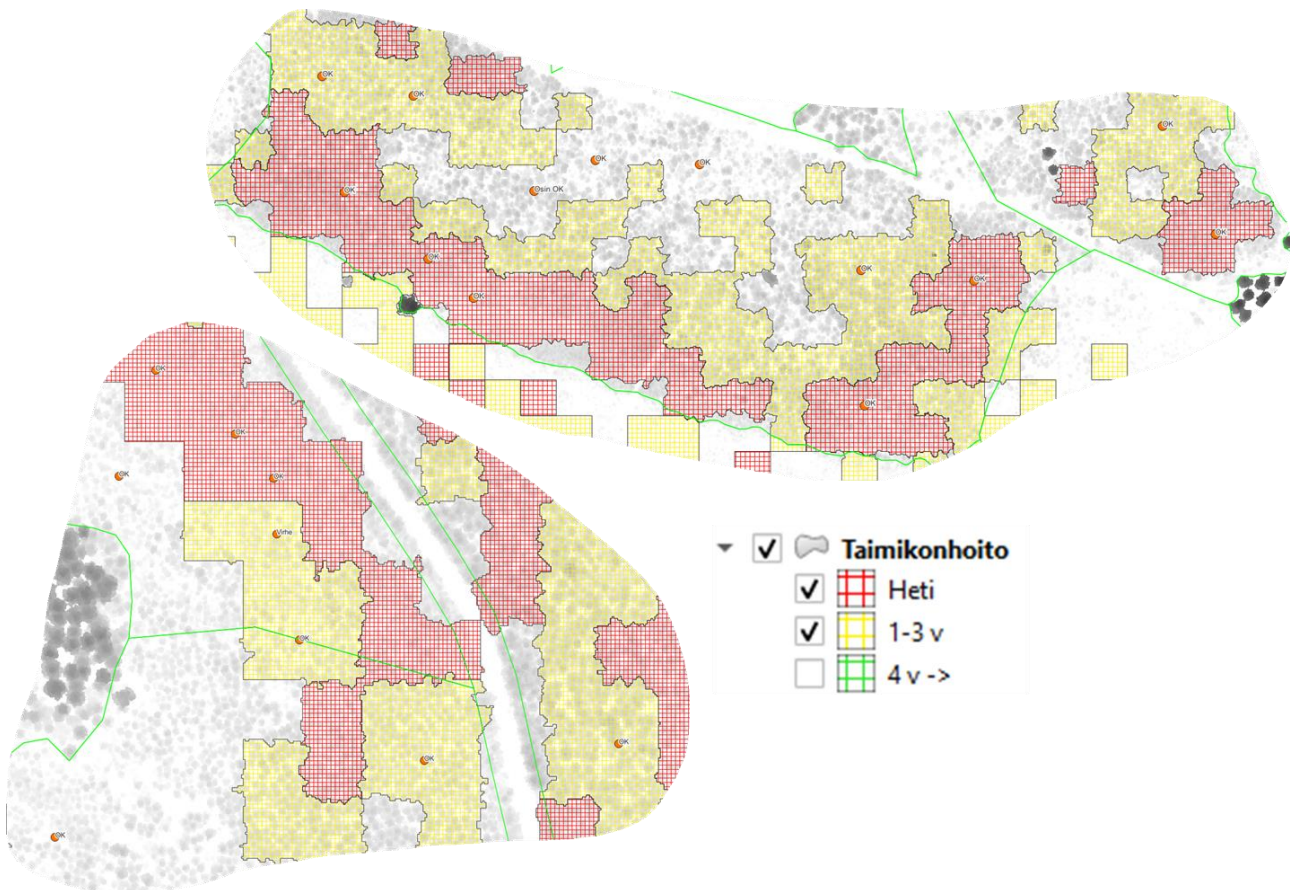
Yhtenäisemmät suoratulkitut alat tai pinta-alaltaan kattavammat ”repaleisestkin” tulkitut kohteet pitivät kohtuullisen hyvin paikkansa. Pienialainenkin suoratulkinnan kohde tai yksikkö voi olla ”oikein” tällä luokituksella. Loput kuviosta voi olla kiireellisyyttä 4-6 v. tai 7-10 v. Koska kohdevalinta painottui suoratulkittuihin kohteisiin, voi tuloksien hyvyys olla osin harhaanjohtava.

Heinävedellä arvioitiin suoratulkintoja vastaavasti. Maastotarkastuspisteitä kertyi 150 kpl, joista varttuneissa taimikoissa 84 kpl (3 lk) ja ennakkoraivauspisteitä 66 kpl (2 lk). Harvennustarpeita ei ehditty arvioida, koska keskityttiin myös kuolleisiin puihin ja haapoihin. Yhteenveto on esitetty taulukossa 8.

Taimikonhoito, 84 kohdetta				
		Maastoarvio		
		Heti	1-3 vuotta	Ei tarvetta
Tulkinta	Heti	30	3	0
	1-3 vuotta	6	27	4
	Ei tarvetta	0	3	11
Ennakkoraivaus, 66 kohdetta				
		Maastoarvio		
		Heti	Ei tarvetta	Osumis-%
Tulkinta	Heti	37	22	63
	Ei tarvetta	2	5	71

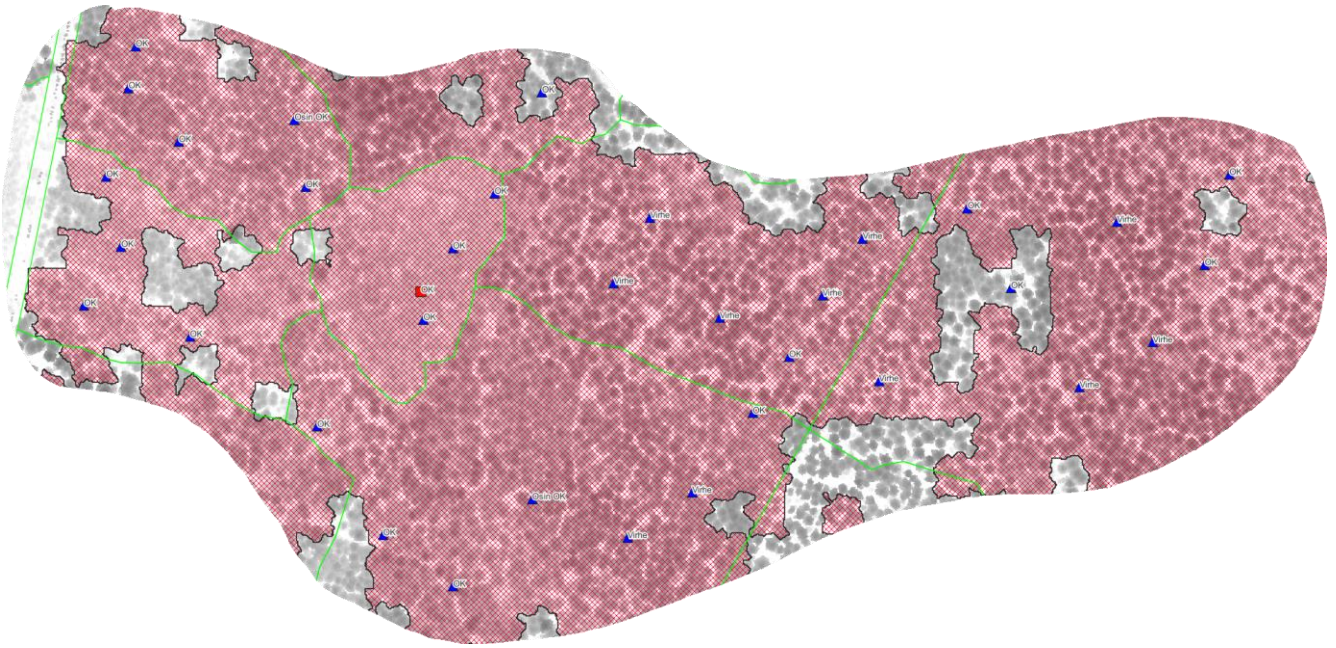
Taulukko 8. Luokittelu ja tulokset: taimikonhoito ja ennakkoraivaus.

Varttuneiden taimikoiden suoratulkinta jopa kolmessa luokassa vaikutti kaikkiaan kohtalaisen hyvältä (taulukko 8, kuva 12). Jos heti-kiireelliset, eli pahimmat vesakot saataisiin vielä eroteltua omakseen, niin tiedosta voisi olla hyötyä metsänomistajankin aktivoinnissa pahimpien hoitorästien osalta. Lisäksi osa kuviosta voi olla pahastikin vesakoitunut, vaikka koko kuvion toimenpidesimuloinnilla ei tulisikaan kiireellistä hoitotarvetta.



Kuva 12. Esimerkkejä taimikonhoidon suoratulkinnasta ja maastotarkastuspisteitä.

Ennakkoraivaustarpeen tulkinta ei onnistunut maastotarkastelun perusteella yhtä hyvin ainakaan tässä poimituilla kohteilla ja tarkasteluun valitulla tulkintamallilla. Raivaustarvetta tuli liikaa (taulukko 8). Toisaalta tulkitsijan koealakohtaisessa tarkastelussa oikeinluokitus-% oli kahdella luokalla jopa 84-87 % välillä, mikä on erinomainen. Mistä ero koealatasen tarkastelussa ja sovellustilanteessa johtui, jää tässä epäselväksi. Syy voi olla myös suhteellisen pienestä maasto-otoksesta, jotka ovat vain sattuneet tulkinnan kannalta huonoihin kohteisiin. Toisaalta kuvassa 13 on kohde, joka luokitui lähes kokonaan raivaustarpeelliseksi, joten ei tulkinta pitäisi kuvankaan kaltaista olla. Ennen tämän tulkinnan käyttöönottoa on syytä selvittää, mistä yliarvio johtui, maastoaineistosta vai tulkintamallista ja jos jälkimmäisestä, niin onko tehtävissä mallin säätöä vähemmän ”herkäksi”.



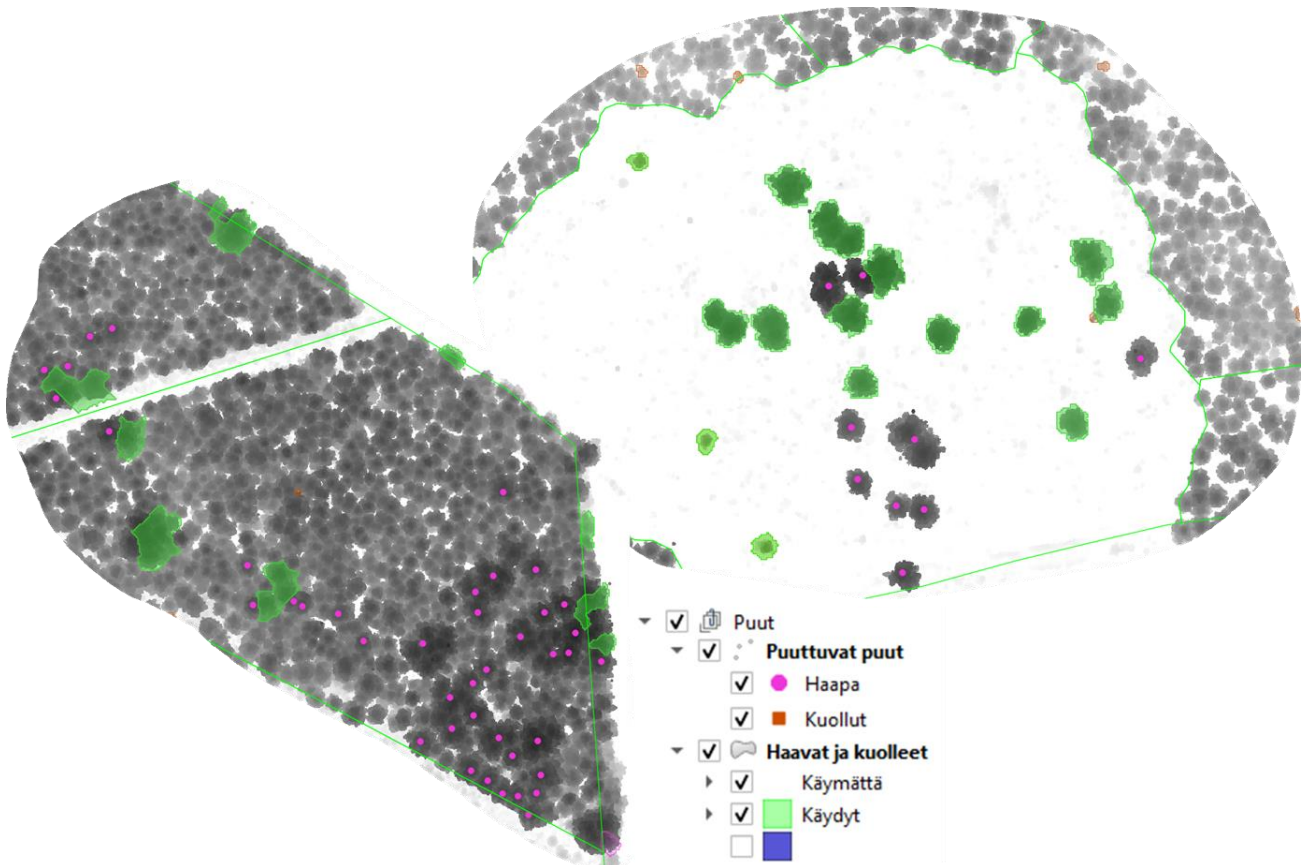
Kuva 13. Esimerkki ennakkoraivaustarpeen suoratulkinnasta (punainen on tarve) ja maastotarkastuspisteitä.

Kaikkiaan ennakkoraivaustarve on huomattavasti haastavampi tulkinta kuin taimikonhoito tai ensiharvennus, koska raivaustarpeessa tarkastellaan vallitsevan puuston alla olevaa alikasvosta/pensaikkoo.

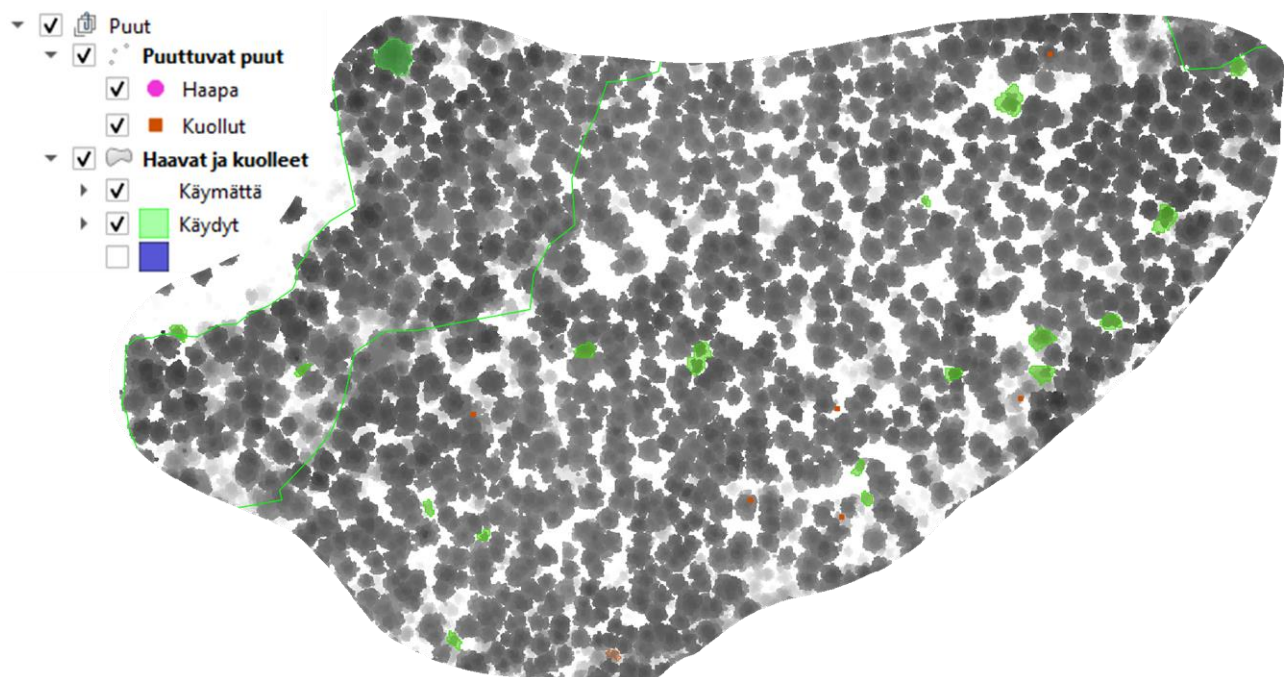
Erityispuut

Heinävedellä tehtiin kuolleiden pystypuiden ja isojen haapojen tulkintaa, mitä käytiin tarkastelemassa myös maastossa. Yksittäisiä kuolleita puita ja haapoja tarkastettiin eri alueilta yhteensä satoja kappaleita. Haavaksi tulkituista latvuksista tehtiin 70 havaintoa ja kuolleeksi tulkituista latvuksista 226 havaintoa. Lisäksi tulkinnasta puuttuvista puista tehtiin 89 havaintoa haavoista ja 55 havaintoa kuolleista puista. Kaikkiaan paikannettuja pisteitä kertyi 440 kpl.

Kuvissa 14-15 on esitetty paikannettuja erityispuiden maastohavaintoja kolmelta esimerkikohteelta. Tarkastellut latvussegmentit kuten myös merkityt puuttuvan puun pisteet voivat pitää sisällään myös useamman puun.



Kuva 14. Erityispuiden tulkinnan maastotarkastelua. Kaikki isot haavat eivät vielä löytyneet. Muuta puustoa vastaavan kokoiset "haavat" olivat usein koivuja.



Kuva 15. Erityispuiden tulkinnan maastotarkastelua. Kuolleita puita löytyi 03-04 kehitysluokan metsistä yllättävän hyvin. Ison metsän alikasvospuita tulkittiin toisinaan kuolleiksi.

Jos haavat ovat ns. normimetsässä ja samankokoisia kuin muut puut, niin ne sekoittuvat koivun kanssa ja varsinkin, jos oli tiheämpää puustoa, missä monen puulajin latvuksia on vierä vieressä. Sekoittuminen oli kuitenkin haavan ja koivun välillä, ei havaittu kuin joku yksittäinen havupuu. Latvussegmentointi on tässäkin isossa roolissa ja se on tunnetusti lehtipuilla haastavampi. Solakammista haavoista ei ollut juurikaan tulkinnan maastoreferenssiä, mutta tällä tarkastelulla jäi aika selkeä tuntuma, että saattaa olla mahdoton tehtävä erottaa metsässä tavallisen kokoisia haapoja ja koivuja toisistaan.

Jatkossa tavoitellaan kuitenkin vielä isoja haapoja. Vaikka osa niistäkin jäisi väliin, niin on parempi, jos haavaksi luokituneet olisivat todennäköisesti oikein, kuin että merkittävä määrä koivuja luokituu haavaksi. Toisin sanoen näyttää siltä, että jos haapoja kartoitettaisiin tuotannossa, niin pitäisi käyttää reilusti jonkinlaista suodatusta/leikkuria ja keskittyä vain kunnolla isompiin haapoihin. Niitäkin oli tosin jäänyt tässä ensimmäisessä malliversiossa tunnistamatta, mutta jatketaan tarkastelua, olisiko perusteita saada kunnolla isot riittävällä luokitustarkkuudella.

Kuolleissa pystypuissa oli paremmin osumia, mutta jos oli tiheämpää kasvatusmetsää, niin ne saattoivat sekoittua elävien latvusten kanssa. Kuolleen puun latvussegmentti voi olla myös pieni, joten jos sillä ei ole omaa tilaa erillään elävistä, niin se on hankala tunnistettava. Heinävedellä jäi myös tuntuma, että kuolleet kuuset erottuivat paremmin kuin männyt. Mäntyjen osalta saattoi käydä myös niin, että jos oli karumpi kasvupaikka ja kitukasvuisempia puita tai muuten kärsivän näköisiä latvuksia, niin ne luokituitivat liian herkästi kuolleiksi. Yhtenä havaittuna ongelmana oli myös varjorinteet, joille tuli kuollutta puuta liikaa.

Kuolleiden puiden tulkinnessa pitäisi käyttää myös suodatusta/pienempien puiden leikkuria, jotta olisivat vähän isompia ja enempi oikein luokituneita puita. Varjorinteille pitää myös kehittää ratkaisu, jottei kuolleita puita leviä niille liikaa. Jatkossa pitää täsmentää millaista referenssiaineistoa on tarpeen mitata niin haavoille kuin kuolleille puille. Mallinnuksen opetuspuiden pitäisi vastata mahdollisimman hyvin tulkittavia latvuksia, joten referenssiä on tärkeä mitata enempi metsästä kuin aukoilta. Kuolleiden pystypuiden tulkinnessa on kuitenkin selkeästi enempi potentiaalia kuin haapatulkinnessa, mutta siitäkään ei luovuta.

ER-puukartat

Kuvissa 16-17 on esitetty esimerkkejä eri-ikäisrakenteisiksi (ER) valituista kohteista. Niitä oli vaikea löytää ja vaativat runsaasti autolla ajoa. Lisäksi ER-puukartat olivat keskimäärin kaksi kertaa hitaampia mitata, kuin normaalit puukarttakoealat.



Kuvat 16 ja 17. Esimerkkejä eri-ikäisrakenteisista metsiköistä.

ER-puukarttojen vertailutesti ei myöskään osoittanut, että niillä saataisiin merkittävää parannusta puustotulkintaan. Jos käytettävissä on taimikko- ja puukarttakoealoja ja lisäksi tulkintaa tehdään sekä latvuksilla että pienemmistä puustoista aluepohjaisella, niin voisi olettaa, että niistä löytyy jatkossa parannusta myös ER-metsien tulkintaan ilman ER-puukarttojakin.

3.1.4 Laskentojen kehittäminen

Laskentojen kehittämisen keskiössä olivat puustojakaumat. Uuden inventoinnin myötä siirrytään käyttämään teoreettisten Weibull-jakaumien sijaan puustotulkinnasta prosenttipistemenetelmällä tuotettavia ns. empiirisiä (aidompia) läpimittajakaumia. Usein puhutaan myös runkolukusarjoista. Laskennassa läpimittajakaumat tuotetaan aina puulajeittain ja kun puulajitulkinta paranee, aidompien jakaumien käytölle on hyvät edellytykset. Lisäksi aidompia puustojakaumia voidaan kasvattaa ja harventaa, kuten teoreettisistakin jakaumista tuotettuja laskentapuustoja.

Kehittäminen sisälsi neljä osatehtävää:

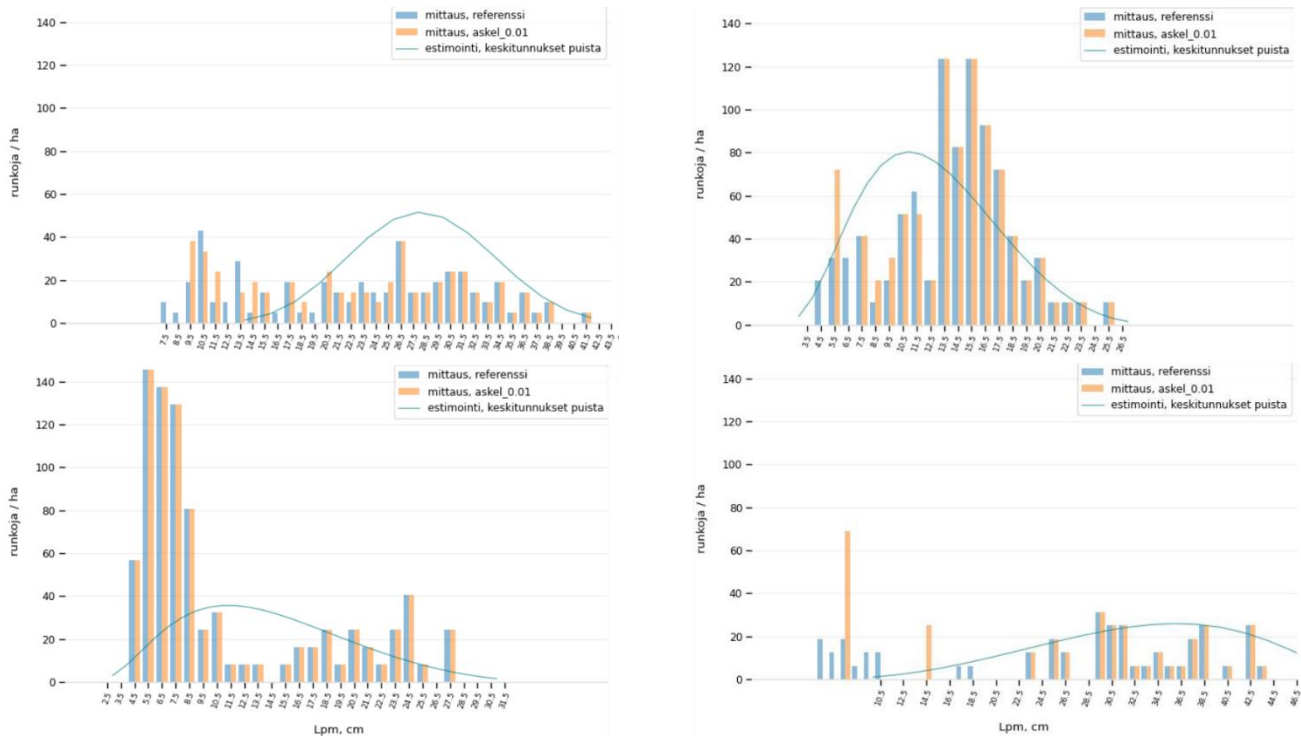
1. Aluepohjaisen k:n lähimmän naapurin tulkinnan lähimmillä koealoilla lasketaan puulajeittaiset läpimittajakaumat.
2. Yksinpuin/semi-yksinpuintulkinnasta saadaan suoraan aidommat jakaumat.
3. Kehitetään kuviopuuston laskenta, missä voi olla molempia edellisiä.
4. Kehitetään myös erityispuiden (kuolleet/mahd. haavat) laskenta kuvioille.

Kaikista osatehtävistä saadaan kehitettyä laskentamenetelmät, jotka soveltuvat tiedontuotantoon. Tuloksia on esitelty tarkemmin laskentojen kehittäjän liitteenä olevassa raportissa.

Kuvassa 18 on esimerkkejä erityyppisistä puukarttakoealoista ja niille tuotetuista teoreettisista jakaumista (viiva) ja prosenttipistemenetelmällä tuotetuista jakaumista (pylväät). Prosenttipisteluokkien sopivaa määrää testataan. Kuvasta havaitaan, että keski- ja summatunnuksista tuotetut teoreettiset jakaumat kuvaavat huonommin todellista puustoa, jos kyseessä on vaihtelevampi puusto.

Prosenttipistemenetelmällä tarkemman puustotulkinnan tiedot voidaan tavallaan tiivistää myös kuvioille todellista puustoa paremmin kuvaavilla jakaumilla.

Läpimittajakaumaluokat lasketaan pohjapinta-alakertymän mukaan, ei tasasenttivälein, jolloin pienemmille puille on leveämpiä luokkia kuin isommille. Eli jos on esim. prosenttipiste 1, niin siihen kuuluvat inventointiyksiköiden pienimmät puut siihen asti, että niiden ppa-summa vastaa yhtä prosenttia koko puulajin puuston ppa:sta. Isompaan päähän puustoa tulee läpimittaluokkia tiheämmin, ja ne ovat myös puutavaralajien laskennan kannalta merkityksellisempiä.



Kuva 18. Läpimittajakaumia puukarttakoealoilla (mitatut puut sekä Weibull- ja %-pistejakaumat). Tässä ei ole mukana puustotulkintaa, vaan on tarkasteltu, miten jakaumat istuvat todelliseen puustoon.

Kasvumallitesti

Hankkeen kuluessa esitettiin epäilyjä, että kolme vuotta pidempi laserkeilauskierto (6:sta 9 vuoteen) aiheuttaisi merkittävää harhaa kasvunlaskennassa.

Lähtökohtana on ensinnäkin se, että metsävaratiedon päivitykseen on huomattavasti paremmat edellytykset kuin aiemmin:

- Tuleva tarkempi inventointi lähtödatana (erityisesti puulajit ja jakaumat).
- Käytössä on paremmat kasvumallit (Luken Motti-mallit ja mallit jatkuvaan kasvatukseen).
- On kehitetty myös puulajiosuuksien mukaan dynaamiset toimenpidesimulointimallit.
- Päivitykseen on käytettävissä entistä kattavammin hakkuukonetietoa.
- Jatkokehityksessä tarkastellaan myös 3 vuoden kierron ilmakuvilta prosessoitavia fotogrammetrisia pistepilviä ja niiden hyödyntämistä hakkuiden päivitykseen (myös harvennukset).
- Lisäksi käytännössä, jos harvennetaan, niin uutta hakkuuta ei tehdä ennen seuraavaa inventointia, vaikka on 9 vuoden keilauskierto.
- Laajennetaan myös metsänhoitotöiden toteutustiedon lähettämistä metsävaratiedon päivitykseen.

Hankkeessa selvitettiin Motti-kasvumallien vaikutusta puustotietojen tarkkuuteen ja aiheuttavatko ne merkittävää harhaa, jos sykliä pidennetään.

Evolta oli käytettävissä Helsingin yliopiston pitkäaikaisia koealoja (32 x 32 m²) kasvatus- ja uudistuskypsistä metsistä, jotka oli mitattu puittain vuosina 2014, 2019 ja 2024.

- 2014-19 tarkastelussa oli 34 koealaa (2 930 puuta).
- 2014-24 tarkastelussa oli 49 koealaa (2 608 puuta).
- Puuston kasvatusajat olivat 5 ja 10 v. (KALLIO:ssa ero 3 v.).

Tulostaulukosta 9 nähdään, ettei harha tai keskivirhekään ole kasvanut kovin paljon 5 – 10 v. välillä, joten vaikuttaa vielä vähemmän 6 – 9 v. välillä. Lisäksi voidaan todeta, että uudet Motti-mallit toimivat huomattavasti paremmin kuin vanhat Mela-mallit.

tunnus	V	G	D	H	HDOM	T	V_MA	G_MA	D_MA	H_MA	T_MA	V_KU	G_KU	D_KU	H_KU	T_KU	V_LP	G_LP	D_LP	H_LP	T_LP
Keskiarvo, tulkinta	269	25	29	23	25.7	70	122	12.5	32.5	23.3	74.8	197	17.1	27.2	22.4	71.8	120	11.8	27.2	23.4	62.9
Keskiarvo, mittaus	286	26	29	24	27.2	70	135	12.8	33.8	24.7	73.2	205	17.7	27.6	23	72.4	129	12.3	27.7	24	60.5
Kuvioita	34	34	34	34	34	34	20	20	20	20	20	25	25	25	25	25	13	13	13	13	13
RMSE	24.4	1.6	0.6	0.8	2.3	7.7	15.9	0.5	2	1.6	2.7	12.3	1.2	0.7	0.8	9.3	16.5	1	1.4	0.8	7
RMSE (%)	8.5	6	2.1	3.3	8.5	11	11.8	4	5.8	6.4	3.7	6	6.5	2.5	3.7	12.8	12.8	8.4	4.9	3.4	11.5
RMSE-korj.	24.4	1.6	0.6	0.8	2.3	7.7	15.9	0.5	2	1.6	2.7	12.3	1.2	0.7	0.8	9.3	16.5	1	1.4	0.8	7
RMSE-korj. (%)	8.5	6	2.1	3.3	8.5	11	11.8	4	5.8	6.4	3.7	6	6.5	2.6	3.7	12.8	12.8	8.4	4.9	3.3	11.5
Harha	-17.5	-0.8	-0.4	-0.6	-1.5	0.8	-12.5	-0.3	-1.3	-1.3	1.5	-8.3	-0.7	-0.4	-0.6	-0.6	-9.4	-0.5	-0.5	-0.6	2.4
Harha (%)	-6.1	-3.2	-1.4	-2.5	-5.6	1.1	-9.3	-2	-3.8	-5.5	2	-4	-3.7	-1.6	-2.5	-0.8	-7.3	-3.7	-1.7	-2.4	3.9
Osumatarkkuudessa	33	32	34	34	23	32	19	20	18	18	20	21	24	25	25	23	13	13	12	13	12
Osumatarkkuudessa (%)	97.1	94	100	100	67.6	94	95	100	90	90	100	84	96	100	100	92	100	100	92.3	100	92.3
Lisäksi luottamusväliä	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lisäksi luottamusväliä (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kokonaisosumatarkkuus	33	32	34	34	23	32	19	20	18	18	20	21	24	25	25	23	13	13	12	13	12
Kokonaisosumatarkkuus (%)	97.1	94	100	100	67.6	94	95	100	90	90	100	84	96	100	100	92	100	100	92.3	100	92.3
Tutkitut kuviot	34	34	34	34	34	34	20	20	20	20	20	25	25	25	25	25	13	13	13	13	13
Nollakuviot	0	0	0	0	0	0	14	14	14	14	14	9	9	9	9	9	21	21	21	21	21

tunnus	V	G	D	H	HDOM	T	V_MA	G_MA	D_MA	H_MA	T_MA	V_KU	G_KU	D_KU	H_KU	T_KU	V_LP	G_LP	D_LP	H_LP	T_LP
Keskiarvo, tulkinta	252	24	28	23	24.8	66	157	15.9	28.6	22.1	70.1	190	16.1	28.4	22.9	71	86.4	8.2	27.9	24.3	50.9
Keskiarvo, mittaus	274	25	29	24	26	68	176	16.5	29.9	23.5	70.9	202	17.3	30.1	23.6	71.2	90.9	8.8	28.8	24.1	65.4
Kuvioita	49	49	49	49	49	49	36	36	36	36	36	27	27	27	27	27	14	14	14	14	14
RMSE	27.6	1.8	1.3	1.2	2	12	23.8	1	2	1.6	11	17.4	1.6	2	1.3	13	13.2	1.1	1.7	1	24.3
RMSE (%)	10.1	7.3	4.4	5.3	7.5	18	13.5	6	6.6	6.6	15.5	8.6	9.5	6.5	5.3	18.2	14.5	12.9	5.9	4.3	37.2
RMSE-korj.	27.6	1.8	1.3	1.2	2	12	23.8	1	2	1.6	11	17.4	1.6	2	1.3	13	13.2	1.1	1.7	1	24.3
RMSE-korj. (%)	10.1	7.3	4.4	5.3	7.5	18	13.5	6	6.6	6.6	15.5	8.6	9.5	6.5	5.3	18.2	14.5	12.9	5.9	4.3	37.2
Harha	-22.4	-1.3	-1.1	-0.8	-1.2	-1.9	-19	-0.6	-1.3	-1.4	-0.8	-12	-1.2	-1.7	-0.7	-0.3	-4.5	-0.6	-0.8	0.2	-14
Harha (%)	-8.2	-5.3	-3.6	-3.6	-4.7	-2.7	-10.8	-3.6	-4.3	-5.8	-1.1	-6	-6.8	-5.7	-3.1	-0.4	-5	-6.3	-2.9	1	-22
Osumatarkkuudessa	48	45	49	45	37	40	36	36	34	29	29	22	24	23	22	24	12	14	14	14	8
Osumatarkkuudessa (%)	98	92	100	92	75.5	82	100	100	94.4	80.6	80.6	81.5	88.9	85.2	81.5	88.9	85.7	100	100	100	57.1
Lisäksi luottamusväliä	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lisäksi luottamusväliä (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kokonaisosumatarkkuus	48	45	49	45	37	40	36	36	34	29	29	22	24	23	22	24	12	14	14	14	8
Kokonaisosumatarkkuus (%)	98	92	100	92	75.5	82	100	100	94.4	80.6	80.6	81.5	88.9	85.2	81.5	88.9	85.7	100	100	100	57.1
Tutkitut kuviot	49	49	49	49	49	49	36	36	36	36	36	27	27	27	27	27	14	14	14	14	14
Nollakuviot	0	0	0	0	0	0	13	13	13	13	13	22	22	22	22	22	35	35	35	35	35

Taulukko 9. Motti-kasvumallitestin tulokset. Taulukossa tulkinta = kasvatettu ja mittaus = maastomittaus. Ylemmässä taulussa vuonna 2014 mitattuja puita on kasvatettu malleilla vuoteen 2019 ja verrattu saman vuoden mittauksiin ja alemmassa taulussa on vastaavasti kasvatettu 2014–2024 ja verrattu vuoden 2024 mittauksiin. Testissä asetettiin myös loogisuusehtoja puiden valinnalle, joilla eliminoitiin selvityksestä koealoille tehtyjen toimenpiteiden, luonnonpoistuman ja mittausvirheiden vaikutusta.

3.1.5 Hiilitesti

Tavoitteena oli viedä puuston ja maaperän hiililaskenta osaksi metsävaratietoa sekä inventointiin että myös tietojen päivitykseen. Kattava metsävaratiedon tuotanto mahdollistaa kuviotason hiilitietojen ylläpidon koko maasta sekä myös hiilitaselaskennan, eli eri ajankohtien hiilivaraston muutokset.

SMK toteutti 2023 kevään ja kesän kuluessa hiililaskentatestin yhteistyössä järjestelmätoimittajan kanssa. Koska kyseessä on olemassa olevaan laskentajärjestelmään liittyvä lisäosa, testityön tarjouspyyntö ja tilaus tehtiin suoraan. Lisäksi kyseessä oli niin pienimuotoinen hankinta, ettei kilpailutusta tarvittu. Toimittajalla on ohjelmistot, joissa hyödynnetään viimeisimpiä käytössä olevia hiililaskentamalleja. Laskentarutiinit ovat myös integroitavissa suoraan laskentajärjestelmään.

Hiililaskentaa testattiin kahden karttalehden metsävarakuvioilla (Kuopio ja Puolanka). Työn tuloksena pystyttiin määrittelemään tarvittavat tietomallin muutokset ja suunnittelemaan integrointia laskentajärjestelmään. Määrittelyissä päädyttiin siihen, että hiili kannattaa laskea kuvioille myös ositteittain (puulajit ja puujaksot). Tietomalliin varattiin paikat puuston ja maaperän hiilivarastolle sekä myös sen muutokselle, kun metsävaratietoja päivitetään kasvunlaskennalla ja toteutetuilla hakkuilla ja hoitotoilla.

Varsinainen hiililaskennan integrointi järjestelmään ei kuulu tälle hankkeelle, vaan siitä tehdään päätös myöhemmin järjestelmäkehityksen resurssien puitteissa.

3.2 Tulosten vieminen käytäntöön

Kaukokartoitusperusteista metsävaratietoa on tuotettu aluepohjaisella menetelmällä jo kaksi inventointikierrosta vuodesta 2010 lähtien. Kun siirrytään tulkitsemaan yksittäisiä latvuksia, on se isoin uudistus 16 vuoteen. Metsävaratieto on metsätalouden ytimessä ja lisääntyviä vaatimuksia on myös monipuolisemmalle luontotiedolle, jonka latvuserusteinen lähestymistapa myös mahdollistaa. Metsävaratietoa käyttää laajasti sekä metsänomistajat että metsäalan toimijat. Tarkempaa aineistoa on mahdollista hyödyntää myös viranomaispuolella metsälain valvonnassa, puunkorjuun laadun seurannassa ja Metka-tukien käsittelyn tukena.

3.2.1 KALLIO2-ohjelma

Ilmakuvausohjelma

Ilmakuvausohjelman osalta nykyiseen kolmen vuoden sykliin on selkeät perustelut Ruokaviraston peltolohkojen valvonnasta. Tarve tulee olemaan sama myös

tulevaisuudessa, jolloin nykyistä ilmakehuvaussykliä ei ole syytä muuttaa, vaan se pidetään kolmessa vuodessa.

Ilmakehuvaussessa resoluutio vaikuttaa kohteiden erottelukykyyne kuvilta. Tarkemmalla resoluutiolla saadaan pienemmät kohteet eroteltua. Tarkemman resoluution tuottaminen vaatii lentämistä matalammalta. Matalammalta lentäminen vaatii enemmän lentämistä tuotantoalueen kattavuuden saamiseksi. Suurempi määrä lentämistä vaikuttaa kustannuksiin suoraan nostavasti. Koska ilmakehuvaus vaatii aurinkoista pilvetöntä säätä, lisälentäminen lisää riskejä, ettei ilmakehuva-aineistoa saada kokonaisuudessaan tuotettua.

Ilmakehuvaussuohjelmassa käytössä ollut 30 cm resoluutio on myös avoimen aineiston raja-arvo. Tarkemman resoluution ilmakehut ovat Turvallisuusluokka IV (TLIV) aineistoa Aluevalvontalain § 14 rajoitealueilta.

Edellä mainituilla perusteluilla ilmakehuvaussuohjelmassa päädyttiin kolmen vuoden sykliin 30 senttimetrin resoluutioilla. Käytännössä ilmakehuvaussuohjelmaan tuli vain pieniä muutoksia. Muutamien tuotantoalueiden toteutusvuotta vaihdettiin ja Ylä-Lapin ilmakehuvaussuohjelmaa tarkennettiin Puolustusvoimien tarpeisiin. Ilmakehuvaussuohjelman alueet ensimmäiselle kolmen vuoden kierrokselle (2026-28) on esitetty kuvassa 19.

Laserkeilaussuohjelma

Laserkeilaussuohjelma tulee olla sidottuna ilmakehuvaussuohjelmaan, koska metsäinventoinnissa tarvitaan tuotantoalueista samalta vuodelta sekä ilmakehut että laserkeilaussuaineisto. Vaihtoehtoina laserkeilaussuohjelman sykliseksi muodostui nykyinen kuusi vuotta tai yhdeksän vuoden harvempi sykli.

Nykyisen kuuden vuoden syklin jatkamista tukivat hyvät kokemukset nykyisestä suohjelmasta ja metsäinventoinnin tuottamista toimenpidesuunnitteluista metsäalan toimijoille. Laseraineiston tihentäminen viidestä pisteestä 20 pisteeseen kuuden vuoden syklillä olisi sekä lisännyt huomattavasti kustannuksia että luonut erittäin riskialttiin suohjelman toteutettavaksi. 20 pisteen laseraineisto vaatii vähintään kaksi kertaa enemmän lentämistä, jolloin vuositasolla laserkeilaimia tarvittaisiin Suomessa tuplamäärä nykyiseen verrattuna. Markkinoilta saatava kapasiteetti on rajallinen ja yli kymmenen laserkeilaimen saaminen kilpailuttamisen kautta nostaisi kustannuksia huomattavasti. Tämän lisäksi laserkeilausten 100 % toteutuminen olisi kuitenkin epätodennäköistä sääriskien takia.

Yhdeksän vuoden ja 20 p/m² laserkeilaussuohjelman syklillä saataisiin vähennettyä vuosikohtaisia kustannuksia. Vuosittain laserkeilattaisiin n. 37 000 km² nykyisen 55 000 km² sijasta. Tällöin vuosittaista laserkeilainkapasiteettia tarvittaisiin

vähemmän ja tarvittava kapasiteetti olisi markkinoilta saatavilla.

Tuotantoaluemäärissä yhdeksän vuoden ohjelmassa olisi 14 tuotantoaluetta per vuosi. Nykyisessä kuuden vuoden ohjelmassa tuotantoalueita on ollut 22 - 25 kappaletta vuodessa.

Metsäkeskuksen osalta metsävaratiedon tuotannon kustannusjako menee karkeasti niin, että koealamittaukset ja niihin liittyvät työt ovat 50 % ja laserkeilaus, ilmakeilaus ja puustotulkinta yhteensä toiset 50 % kokonaiskustannuksista. Näin ollen yhtenä keskeisenä kriteerinä vähentää vuotuisia keilausalueita oli myös se, ettei Metsäkeskuksella ole enää resursseja yli 20 alueen vuotuisen metsävaratiedon tuotantoon. Koealamittauksen laadusta ja kattavuudesta ei tingitä, koska ne vaikuttavat keskeisesti myös puustotulkinnan laatuun. Toisin sanoen nykyisellä tuotantoaluemäärällä Metsäkeskuksella ei olisi ollut varaa mitata koealoja kaikille alueille ja puustotulkinta olisi jäänyt osalle alueista kokonaan tekemättä.

Yhdeksän vuoden sykli ei kuitenkaan vastannut aukottomasti käyttäjien tarpeisiin ajantasaisesta laserkeilausaineistosta. Laserkeilausohjelmassa päädyttiin yhdistämään tiheämpi aineisto (20 p/m^2) ja harvempi sykli (9 v). Pääohjelman lisäksi määriteltiin tuotantoalueet seuraavalle kuudelle vuodelle, joiden osalta suoritettaisiin laserkeilaus nykyisellä 5 p/m^2 laseraineistolla. Tällä ohjelmaratkaisulla päästiin aineistoja hyödyntävien organisaatioiden näkökulmasta kompromissiin, jolla KALLIO2-ohjelma voidaan käynnistää vuonna 2026.

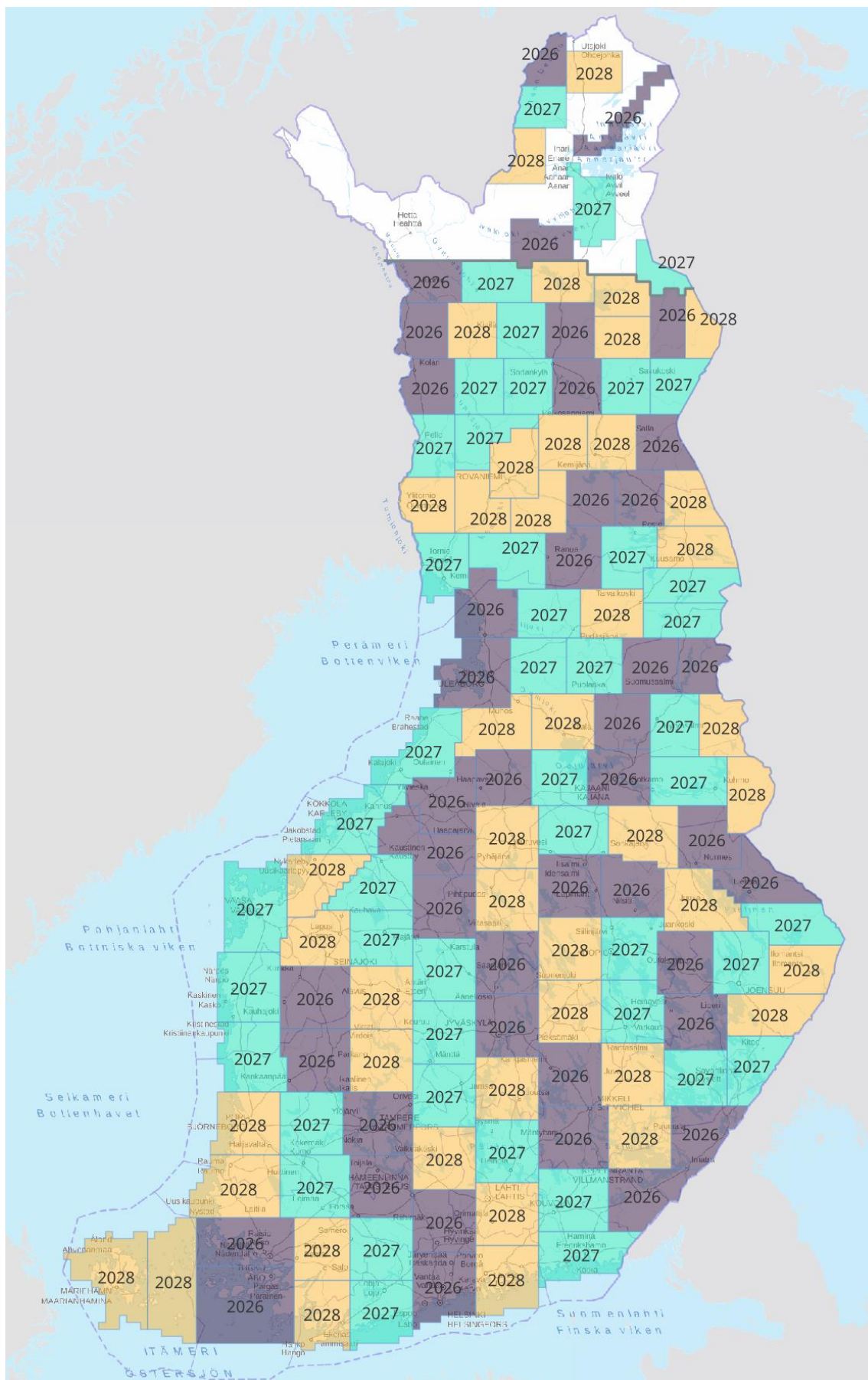
Tuotantoalueiden jakojen muuttamista mietittiin työryhmässä. Tavoitteena oli laajentaa tuotantoalueita, jolloin tuotantoalueiden kokonaismäärä vähenisi. Tuotantoalueiden määrän vähenemisellä saataisiin säästöjä metsäinventoinnin maastotöissä. Tuotantoalueiden uudelleen järjestely ei kuitenkaan ollut yksinkertaista. Esimerkiksi Ruokaviraston tarve kolmen vuoden kuvaussyklin varmistamiseksi olisi uuden ohjelman kahden ensimmäisen vuoden aikana tuonut ylimääräistä kuvattavaa. Erikseen määritellyille tuotantoalueille haluttiin tehdä kuuden vuoden syklissä laserkeilaus. Tuotantoalueiden muuttaminen olisi luonut paljon tilanteita, joissa sykli on välillä vain muutama vuosi ja silti ohjelmaan olisi jäänyt pienempiä alueita, joissa laserkeilausten välit olisivat venyneet yli yhdeksäänkin vuoteen. Tuotantoalueiden rajausten pitäminen ensimmäisen KALLIO-ohjelman mukaisena oli vastaavasti selkeä ratkaisu. Tuotantoalueet tulisivat tällä ratkaisulla keilattua tismalleen samalta kattavuudelta, jolloin mm. muutostentulkinta ajanhetkien välillä yksinkertaistuu. Tuotantoaluejaoissa päädyttiin käyttämään samoja tuotantoalueita kuin ensimmäisen KALLIO-ohjelman aikana. Laserkeilausohjelma 20 p/m^2 on esitetty kuvassa 20 ja laserkeilausohjelma 5 p/m^2 kuvassa 21.

Yhteistyösopimus

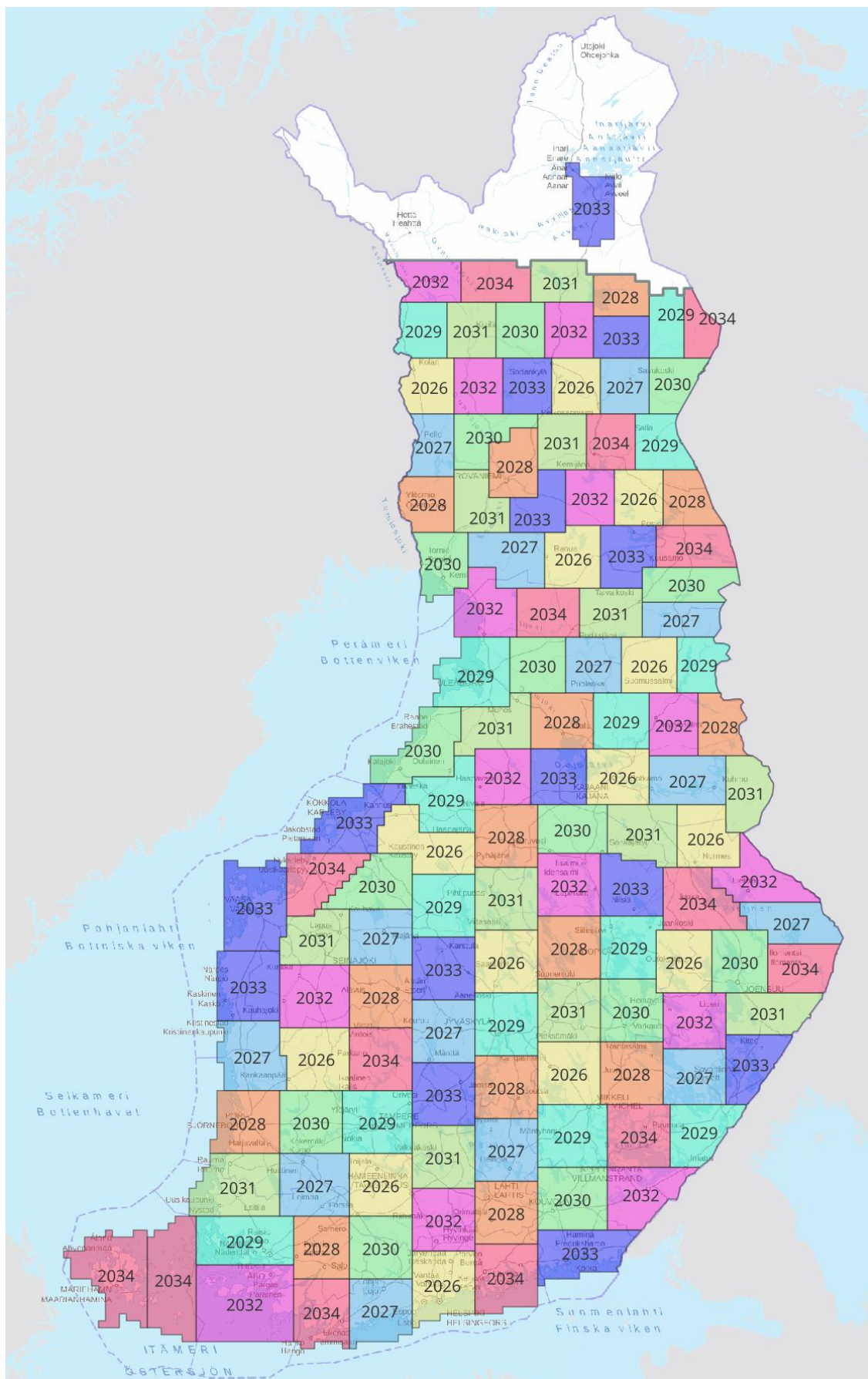
Yhteistyösopimus allekirjoitettiin 26.9.2025 yhdeksän organisaation kesken. Yhteistyösopimukseen osallistui nykyisten KALLIO-organisaatioiden (Maanmittauslaitos, Metsähallitus, Ruokavirasto, Suomen Metsäkeskus ja Suomen ympäristökeskus) lisäksi uusina yhteistyökumppaneina Geologian tutkimuskeskus, Luonnonvarakeskus, Puolustusvoimat ja Väylävirasto.

Sopimuksen allekirjoittaneista organisaatioista muodostuu KALLIO2-yhteistyöryhmä, joka vastaa kansallisten laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelmien ylläpidosta. Yhteistyösopimukseen on määritelty organisaatioiden vastuut yhteistyössä sekä kustannusjaon periaatteet aineistokohtaisesti (ilmakuvaus, laserkeilaus 20 p/m² ja laserkeilaus 5 p/m²).

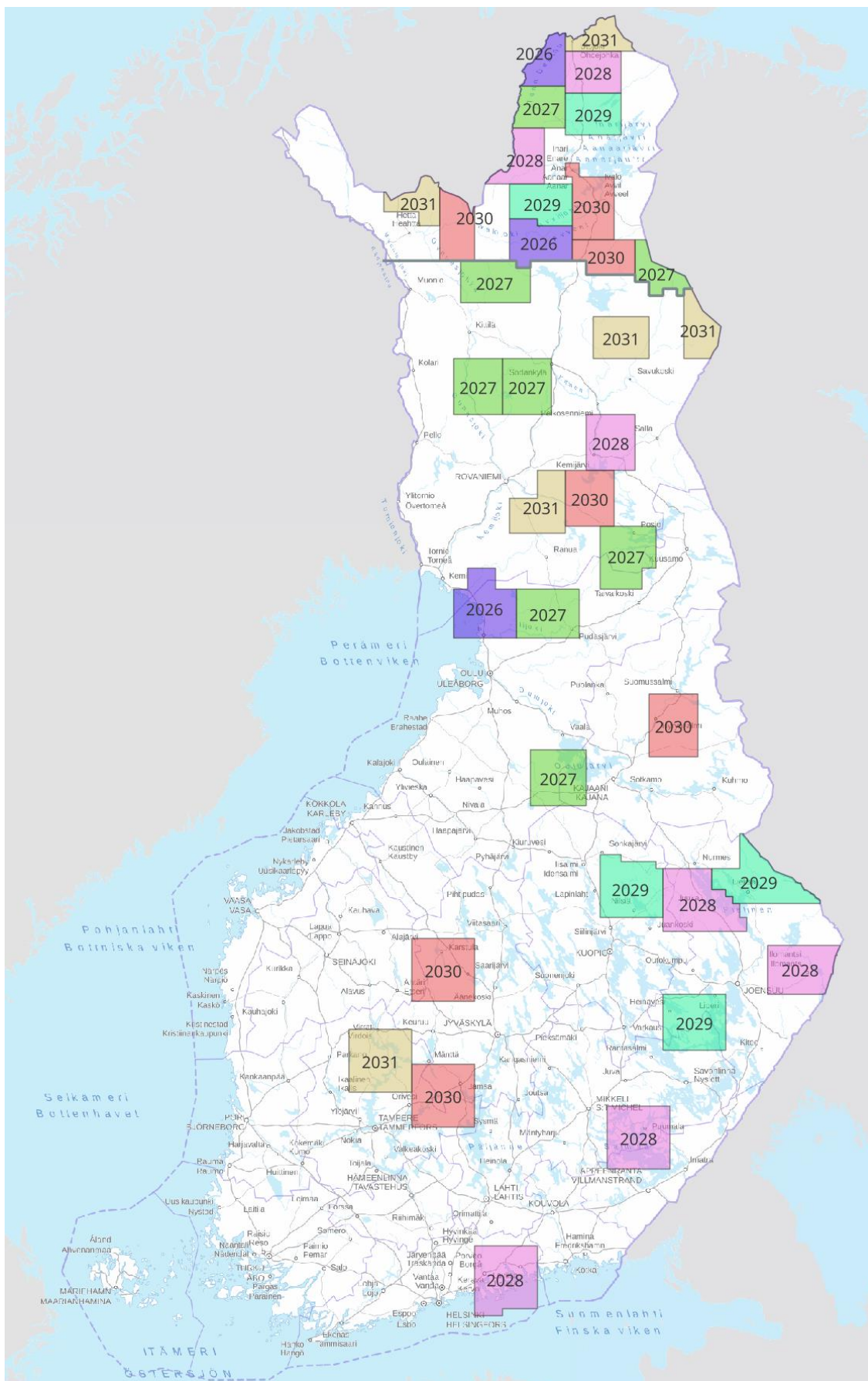
Maanmittauslaitos vastaa laserkeilaus- ja ilmakuvauksineistojen hankintaan, toiminnan koordinointiin, aineistojen laadunvalvontaan ja aineistojen luovutukseen sekä arkistointiin liittyvistä toimista. KALLIO-sopimus ja prosessointialustan JURA-sopimus päätettiin pitää erillään, eikä niitä yhdistetty saman sopimuksen alle. Yhteistyösopimuksen allekirjoittamisen myötä KALLIO2-ohjelmat aloitetaan tuotantokaudella 2026.



Kuva 19. Ilmakuvausohjelman tuotantoaluejaot vuosille 2026–2028.



Kuva 20. Laserkeilausohjelman 20 p/m² tuotantoaluejaot vuosille 2026–2034.



Kuva 21. Laserkeilausohjelman 5 p/m² tuotantoaluejaot vuosille 2026–2031.

3.2.2 Uudet tulkinnat ja tuotteet

Alla on listattu kootusti uudet tulkinnat ja niihin liittyvät mahdolliset tuotteet.

1. Semi-yksinpuintulkinta (semi-ITC) tai yksinpuintulkinta (ITD)

- Aluepohjainen tulkinta (ABA) tehdään ensivaiheessa edelleen kattavasti taimikoille sekä kasvatus- ja uudistuskypsille metsille. Semi-ITC tai ITD tehdään vain kasvatus- ja uudistuskypsille metsille, jotka rajataan laserpituuden mukaan.
- Semi-ITC:n tai ITD:n inventointiyksikkönä on laserista segmentoitu yksittäinen latvus (esim. n. 10-50 m²), jolle tulkitaan normaalit puutunnukset.
- Semi-ITC on sama kuin nykyinen k:n lähimmän naapurin menetelmä (kNN), mutta inventointiyksikkönä on latvussegmentti, joka sisältää 1-n puuta. Pisin/isoin puu on omanaan ja muut mahd. pienemmät puut ositteina kNN-menetelmän mukaan.
- ITD on ns. "aito" yksinpuinmenetelmä, jolla tulkitaan vain yksittäisiä puita.
- Molemmille soveltuva tietomalli on määritetty. Aidompien läpimittajakaumien laskenta kuvioille on keskeinen ja merkittävä parannus (parempi puulaji- ja puutavaralajitieto, keskijäreys, parempi kasvunlaskenta).
- Avoimeen metsävaratietoon voidaan lisätä kuvioille puulajeittaiset läpimitan prosenttipistejakaumat sekä keskijäreys.
- Mahdollistaa myös pisteinä esitetyn isompien puiden oman tietotuotteen.

2. Kuolleiden pystypuiden ja isojen lehtipuiden tulkinta

- Mitataan ("pankkiin") omaa maastoreferenssiä (menetelmät kehitetty).
- Kuolleita pystypuita tulkitaan semi-ITC/ITD-tulkinnan yhteydessä, missä erotetaan kuolleita/kuolemassa olevia latvuksia.
 - Pienemmät elävän latvuksen vieressä tai alla olevat puut eivät erotu, vaan kyseessä on kuolleita puita, jotka "näkyvät" myös ylöspäin kaukokartoitukselle.
- Isot lehtipuut tarkoittavat vähintään uudistuskypsän kokoisia lehtipuita, jotka tulkitaan normaalisti semi-ITC/ITD-tulkinnassa, mutta erotetaan myös tavallista suuremmat lehtipuut ja mahdolliset haavat.
 - Haapojen tulkinta on haastavaa, mutta tavoitteena on tulkita mahdollisia isoja haapoja ns. varmat pois periaatteella, jotta eivät sekoitu koivujen kanssa.
- Säästöpuiden ohessa tämä on merkittävä lisäys luontotietoon. Voivat olla myös omina ositteinaan metsävarakuvioilla.

3. Toimenpiteiden suoratulkinta

- Mallinnetaan maastokoealojen sekä laser- ja ilmakuvapiirteiden perusteella 1) varttuneen taimikonhoidon, 2) nuoren kasvatusmetsän ensiharvennuksen kiireellisyyttä sekä 3) kasvatusmetsän ennakkoarvaustarvetta.
- Kiireellisyysluokkia on vähintään kaksi, eli on tarve tai ei ole tarvetta. Varttuneissa taimikoissa voi olla myös 3 luokkaa, eli pahimmat vesakot heti (on jo myöhässä), hoitotarve 1-3 v. päästä tai ei ole tarvetta.
- Tulkintayksikkönä on joko aluepohjaisen tulkin hilaruutu tai latvusrajattu tulkintayksikkö (n. 250 m²).
- Hyödyllinen lisä kuvioiden toimenpidesimulointiin ja kuvaa omana tuotteena myös kuvion sisäistä vaihtelua (esim. toinen puoli kuvioista vesakoitunut). Voisi omana karttatuotteenaan myös aktivoida metsänomistajaa.

4. Kasvupaikkatiedon tulkinta pituusbonitoinnilla

- Kahden eri ajankohdan laseraineiston avulla tehty pituuskasvun tulkinta ja siitä laskettava pituusbonitointi, joka kuvaa kasvupaikan rehevyyttä/puuntuottokykyä.
- Perinteisiä kasvupaikkaluokkia ei korvata pituusbonitoinnin avulla, vaan boniteetti on oma muuttujansa, joka täsmentää kasvupaikkaluokkatietoa.
- Tulkinta kasvatus- ja uudistuskypsiin metsiin. Ei voi soveltaa jatkuvan kasvatuksen kohteille. Keilausten välillä tehtyjä päätehakkuita ei voi tulkita, mutta normaali alaharvennus ei vaikuta menetelmän soveltamiseen.
- Tulkintayksikkönä on nykyisen aluepohjaisen tulkin hilaruutu, koska tilaajan kasvupaikkatieto on tallennettu hila-tietorakenteeseen.
- Kasvupaikkatieto vaikuttaa esim. kasvunlaskentaan ja toimenpidesimulointeihin.

5. Kuvioiden kerroksellisuus (puujaksot) ja tilajärjestys (ryhmittäisyys)

- Tiheä laser ja latvustulkinta mahdollistaa metsän rakenteen kuvaamisen.
 - Mikä on merkittävä puujakso, mikä on sopiva tilajärjestysfunktio ryhmittäisyydelle (mm. Rippleyn funktiot) ja tunnistetaanko alikasvosta.
- Kuvaa metsäluonnon monimuotoisuutta, mahdolliset jatkuvan kasvatuksen kohteet ja toimenpidesimuloinnin parantaminen.
- Tässä on haasteena erityisesti kerroksellisuus ja miten se määritellään käytännön metsäsuunnittelua ja luonnonhoitoa palvelevaksi. Valmista ei ole, vaan tämä vaatii jatkokehitystä.

6. Hiililaskenta kuvioille (puusto ja maapohja).

- Pilotoitu ja määritelty, vietävissä järjestelmään, jos niin päätetään.

3.2.3 Uuden metsävaratiedon kilpailutus ja järjestelmäkehitys

Tavoitteena on määritellä uuden tyyppinen puustotulkinta alkukevään 2026 metsävaratiedon tuotannon kilpailutuksiin. Tällöin päästäisiin hyödyntämään KALLIO2-aineistoa heti ensimmäisenä kautena ja ensimmäisiä puustotulkintoja saataisiin vuoden 2027 kuluessa. Tätä kirjoitettaessa on kuitenkin vielä auki, onko SMK:lla resursseja viedä kaikkia kehitettyjä menetelmiä järjestelmäkehitykseen, missä aikataulussa ja millä priorisoinneilla.

3.3 Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet

MetsäKaksoosessa on kehitetty 2,5 vuoden aikana tärkein metsävaratiedon uudistus 16 vuoteen. Myös KALLIO2-ohjelman suunnittelun lähtökohtana on ollut, että tiheäpulsasilaserin myötä siirrytään tulkitsemaan yksittäisiä latvuksia pelkän aluepohjaisen tulkinnan sijaan. Tämä mahdollistaa tulevaisuudessa tarkemman ja monipuolisemman metsävara- ja luontotiedon. Yksinpuintulkintaa on tutkittu pitkään, mutta nyt on selkeästi edellytykset viedä se myös tulevaan valtakunnalliseen tiedontuotantoon.

Tänä vuonna alkaneessa MMMUnite2-hankkeessa jatkokehitetään MetsäKaksoosen teemoja ja mukana on myös uusia aiheita. Jatkohankkeen pääkehittäjänä on MML:n Paikkatietokeskus (FGI) ja SMK on mukana toisena osapuolena. Hankkeessa on laserkeilattu vuoden 2025 Padasjoen tuotantoalue 20 p/m² pistetiheydellä ja SMK vastaa mm. maastoreferenssien mittauksesta.

Muuttuvassa ilmastossa tarvitaan entistä laadukkaampaa ja monipuolisempaa tietoa myös metsistä. Kaukokartoitus on kustannustehokas tapa laajojen alueiden kartoitukseen. Teknologian ja menetelmien kehityksen myötä on mahdollista tuottaa entistä tarkempaa tietoa niin päätöksenteon tueksi kuin operatiiviseen toimintaan. Kehittyneemmät tekoälyt, kuten syväoppivat neuroverkot, luovat mahdollisuuksia kehittää myös entistä tehokkaampia ja automaattisempia metsien kaukokartoitusmenetelmiä.

Suomessa on kaukokartoituksen huippuosaamista ja mahdollisuus olla edelläkävijä tulevaisuuden tarkan lentokonelaserkeilauksen ja yksinpuintulkinnan viennissä laajojen alueiden metsävaratiedon tuotantoon.

SIGNATURES

ALLEKIRJOITUKSET

UNDERSKRIFTER

SIGNATURER

UNDERSKRIFTER

This documents contains 58 pages before this page
Dokumentet inneholder 58 sider før denne siden

Tämä asiakirja sisältää 58 sivua ennen tätä sivua
Dette dokument indeholder 58 sider før denne side

Detta dokument innehåller 58 sidor före denna sida

authority to sign
representative
custodial

asemavaltuus
nimenkirjoitusoikeus
huoltaja/edunvalvoja

ställningsfullmakt
firmateckningsrätt
förvaltare

autoritet til å signere
representant
foresatte/verge

myndighed til at underskrive
repræsentant
frihedsberøvende