

Suomen Metsätieteellinen seura, 110-vuotisseminaari 10.5.2019

Metsien kaukokartoitus – digitalisaatiota, täsmämetsätaloutta ja 4D-geoinformatiikkaa

Markus Holopainen

University of Helsinki, Laboratory of Forest Resources Management and Geo-Information Science

<https://www.helsinki.fi/en/researchgroups/forest-resources-management-and-geo-information>

<http://blogs.helsinki.fi/marv-gis-en/>

Centre of excellence in laser scanning research

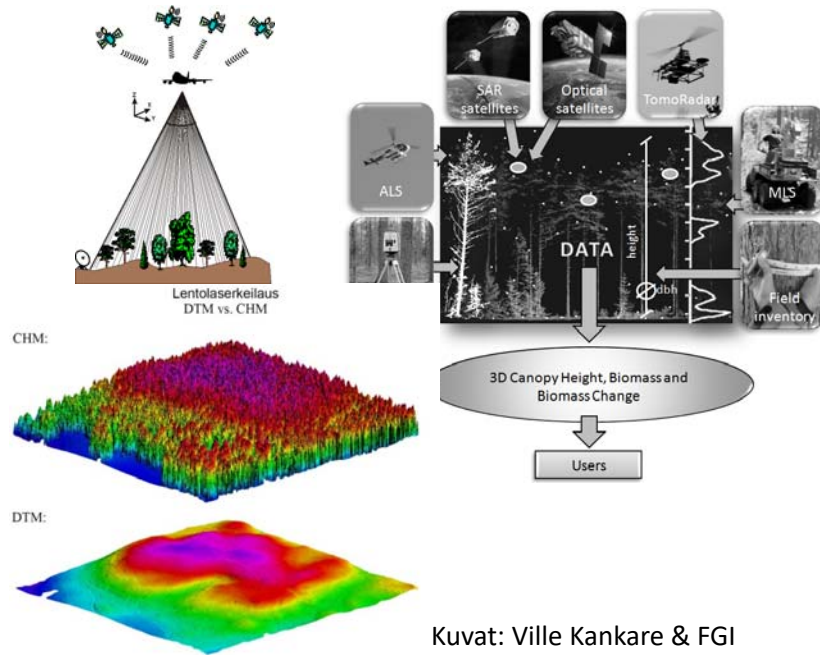
<http://laserscanning.fi/>

Esityksen sisältö

- Käsitteitä
- Metsien kaukokartoituksen kehitysloikka Suomessa
- 3D/4D –täsmämetsätalouden tutkimuksellisia painopisteitä – tuoreita tutkimuksia
- Kohden valtakunnallisen laserkeilauksen toista kierrosta
- Tulevaisuuden kaukokartoitusaineistot ja menetelmät
- Yhteenveto

Käsitteitä

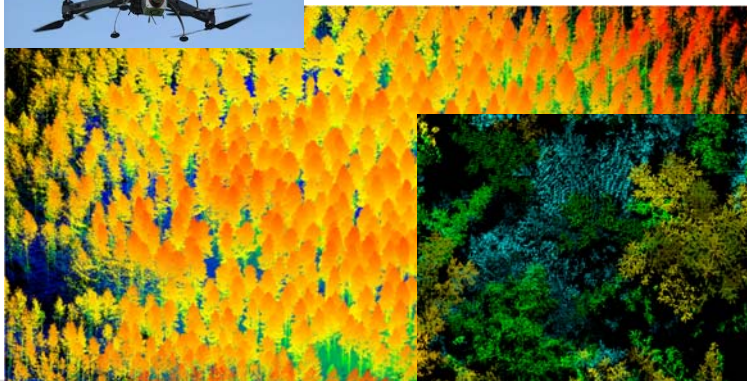
- Passiivinen kaukokartoitus: ilmakuvat, optisen aallonpituusalueen satelliittikuvat, hyperspektrikuvaus
- Aktiivinen kaukokartoitus: tutkakuvaus, laserkeilaus
- Resoluutio – spatiaalinen, spektrinen, radiometrinen, temporaalinen
- 2D, 3D, 4D
- lentolaserkeilaus (ALS), maastolaserkeilaus (TLS)
- Metsien laserkeilaus:
<https://www.dropbox.com/s/zxb5dko4n2jwk85/LaserkeilausEsittely.mp4?dl=0>
- Tilastollinen ja fysikaalinen kaukokartoitus



Kuvat: Ville Kankare & FGI

Kohden tarkempaa tietoa (kuvat: FGI, Ponsse):

- Lennokkikuvaus – erittäin korkeat pistetiheydet / spatiaalinen resoluutio
- Mobiili laserkeilaus maastossa

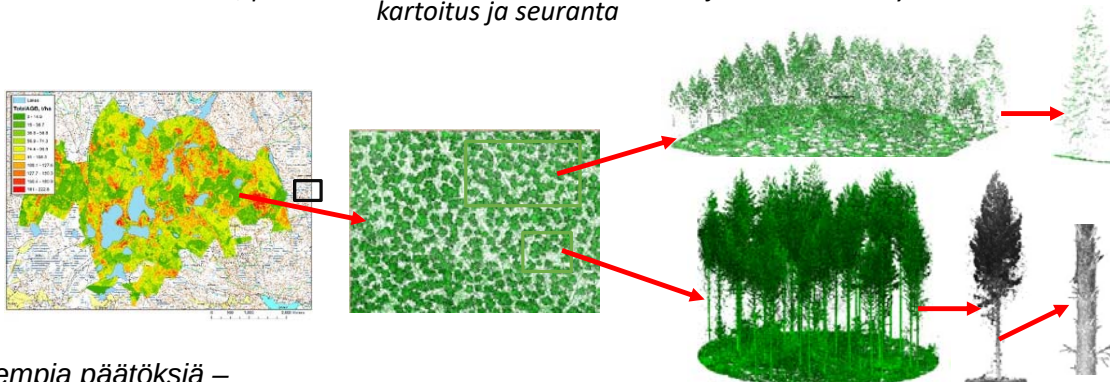


Metsien kaukokartoituksen kehitysoikkia Suomessa

- Kaukokartoitus osaksi operatiivista metsäsuunnittelua ja metsien inventointia – Nyyssönen, Jaakola, Poso, Kilkki, Tokola, Tomppo, Häme
- Digitalisaatio I – paikkatietoaineistojen digitointi, metsät paikkatietojärjestelmissä (Laasasenaho), kaukokartoitusaineistojen kehittyminen
- Digitalisaatio II – Laserkeilaukseen perustuva metsävaratieto, metsien fysikaalinen kaukokartoitus
 - Hyyppä, Maltamo, Korpela, Packalen, Stenberg, Rautiainen
- **Digitalisaatio III**
 - **3D-tietoon perustuva täsmämetsätalous, avoimet aineistot, kaukokartoitukseen ja muuhun paikkatietoon perustuvat palvelut, 4D-geoinformatiikka, koneoppiminen, tekoäly**

3D/4D -täsmämetsätalous & 4D-geoinformatiikka

3D-/4D-kaukokartoitusmenetelmien kehittäminen ja lisäarvon tuottaminen tarkentuneen tiedon kautta: metsäsuunnittelu, puunkorjuu ja logistiikka, puun laatu, puita kuvaavat mallit, puustobiomassan, monimuotoisuuden ja metsien terveydentilan kartoitus ja seuranta



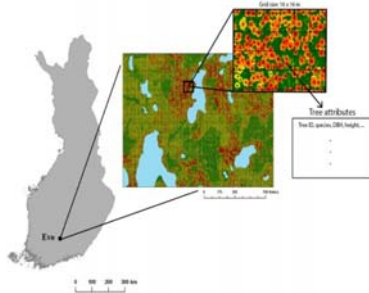
Kuva: Ville Kankare

Parempia päätöksiä –
Täsmämetsätalouteen perustuva
tietojohtaminen

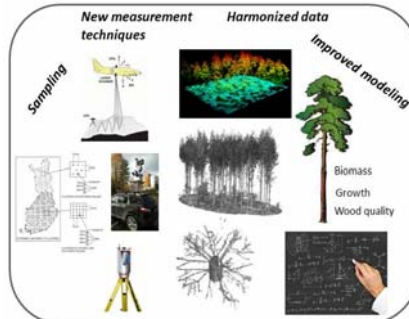
4D-geoinformatiikka – 4D-tietoon perustuvat muutostulkinnat sekä niihin liittyvät paikkatietoanalyysit. Esimerkiksi metsävaratiedon päivitys ja metsätuhoihin liittyvä riskimallinnus.

3D/4D teknologiat ja niihin liittyvä lisäarvo

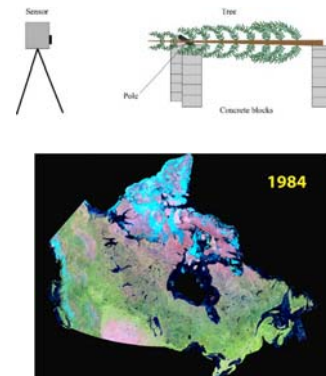
Uusien 3D-kaukokartoitusmenetelmien kehittäminen, metsäsuunnittelun ja puunkorjuun tehostaminen, tiedon kautta tuotettava lisäarvo, esimerkiksi sähköinen puukauppa, puun laatutunnusten mittaaminen



3D-pistepilvien hyödyntäminen puita ja puustoja kuvaavissa malleissa



Metsän biomassan, monimuotoisuuden ja terveydentilan kartoitus ja seuranta

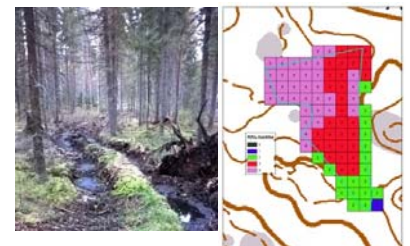


Kestävän metsätalouden sovellukset

Kuvat: Ville Kankare, Mikko Vastaranta, Samuli Junttila & Joanne White

3D/4D-täsmämetsätalouden tutkimukselliset painopisteet I: Tulevaisuuden 3D-pistepilvet ja puunkorjuun tehostaminen

- Laserkeilaukseen ja fotogrammetriaan perustuvat 3D-pistepilvet mullistavat kartoituksen
- Keskeisenä ajurina itseohjautuvien robottiautojen massatuotannon käynnistäminen
- Tukkipöydät, hakkuukoneet ja lennokit tuottavat 3D-pistepilvidataa
- Karttojen / metsävaratiedon päivittäminen voidaan muuttaa vaikka reaaliaikaiseksi
- Hakkuukoneessa olevan laserkeilaimen avulla saadaan tarkkaa tietoa harvennushakkuulla leimikolle jäävästä puustosta.
- Hakkuukonedataa voidaan käyttää yksittäisen puun tasolla tehtävän metsävaratiedon päivityksen sekä kaukokartoitustulkintojen lähtöaineistona.
- Hakkuukoneen kuljettajaa avustavat järjestelmät: Korjuukelpoisuuskartat, poistettavien puiden automaattinen valinta
- Metsäteiden kunnon kartoitus
- Keskeiset haasteet:
 - hakkuukoneen kouran paikannustarkkuus
 - suurten tietöaineistojen (3D-pistepilvien) automaattinen käsittely jopa reaaliaikaisesti
 - Entistä tarkemmalle tiedolle ei ole selkeää markkinaa tai sen tuottamiselle ansaintamallia



Kuvat: Ville Kankare

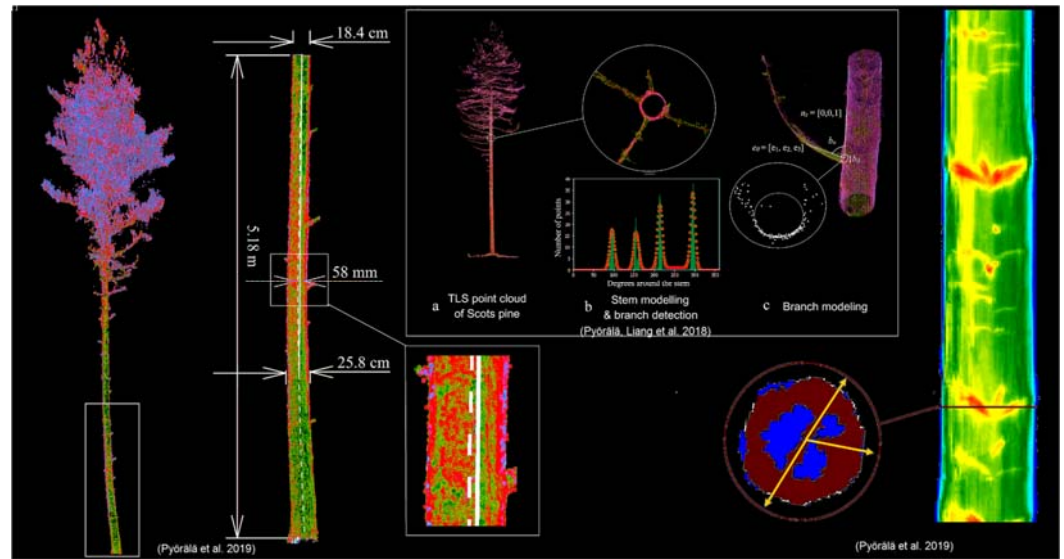
Puukohtaisten laatuindikaattorien mittaaminen TLS-pistepilvistä:
yksityiskohtaisen maastotiedon hankinta ALS-pohjaisen tulkin referenssiksi (Jiri Pyörälä)

• Oksamittaukset:

- Menetelmä automatisoitu
- Havaintotarkkuus laskee elävässä latvuksessa. Etäisyys, peitteisyys ja tuuli

• Runkomittaukset:

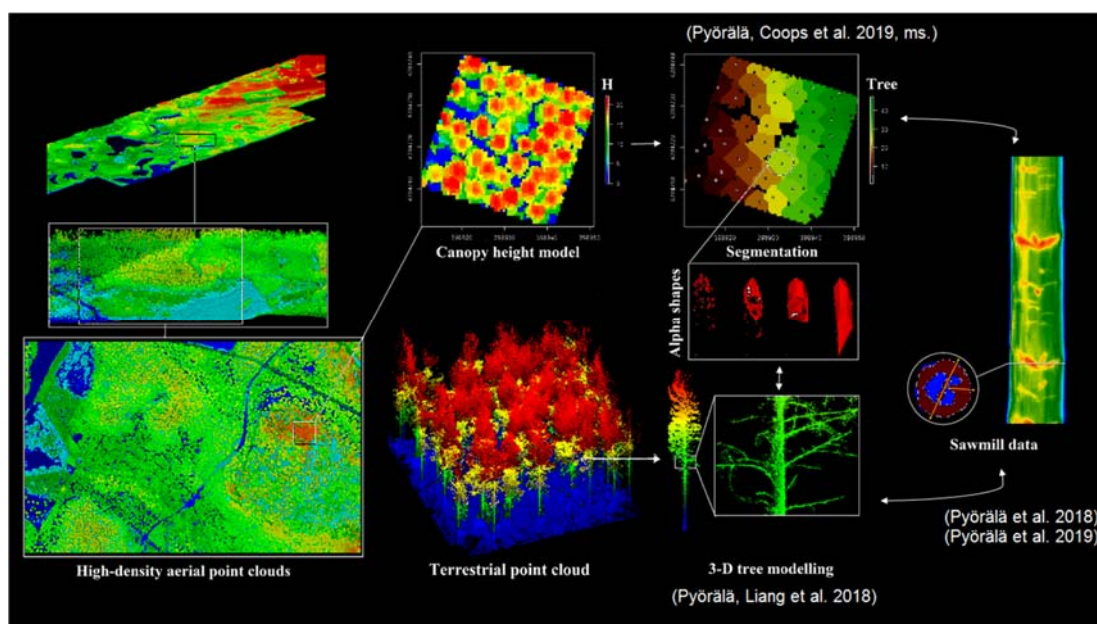
- Menetelmä automatisoitu
- Tukkidimensioiden tarkkuus vertautuu sahamittauksiin, lenkouden arviointi haastavaa
- Tukkidimensioiden mittaaminen metsässä korreloi puuaineen tiheyden ja oksaisuuden kanssa



Kuva: Jiri Pyörälä

9/19

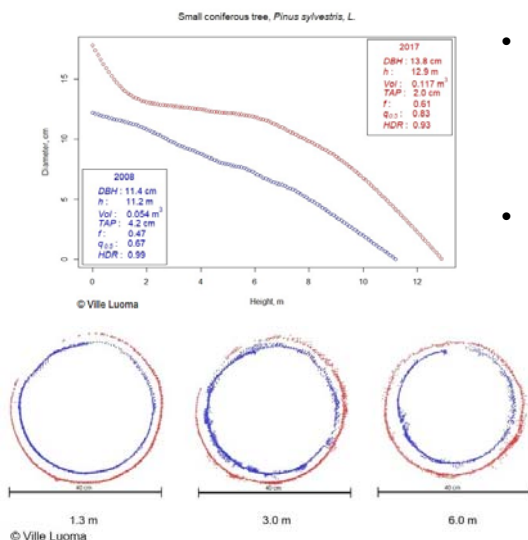
tulevaisuuden visio



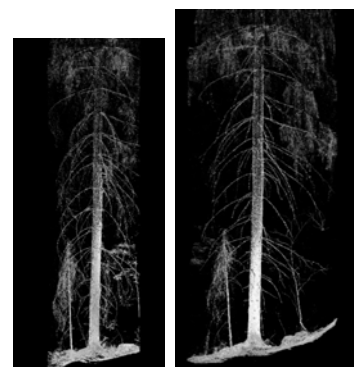
Kuva: Jiri Pyörälä

Laserkeilausaikasarjat - puuta kuvaavat mallit, kasvun mittaaminen

Runkomuodon muutoksen ja tilavuuskasvun havaitseminen kahden ajankohdan 3D-pistepilviltä (Ville Luoma)



- Maastolaserkeilaus (TLS) mahdollistaa puiden tilavuuskasvun luotettavan mittaamisen aikasarjoilta
 - 9 vuoden tarkastelujakso pisin, mitä TLS:n avulla tutkittu
 - Runkomuodon muutosta analysoitiin mm. kapenemisen ja muotosuhteen avulla
 - Havainnot koko rungon alueelta, ei vain tietyiltä mittauskorkeuksilta → mahdollisuus uusien tunnusten hyödyntämiseen
- Osoittaa, että TLS:llä voidaan mitata ja seurata puiden kasvua sekä kehitystä.
- Menetelmä soveltuu mm. toimenpiteiden ja kasvuolosuhteiden vaikutusten arviointiin

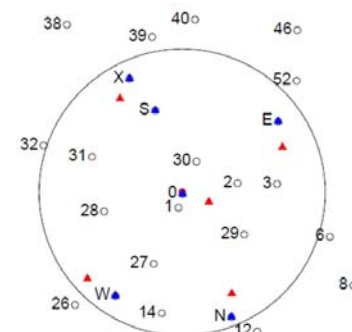


Luoma V., Saarinen N., Kankare V., Tanhuanpää T., Kaartinen H., Kukko A., Holopainen M., Hyypä J., Vastaranta M. 2019. Examining Changes in Stem Taper and Volume Growth with Two-Date 3D Point Clouds. *Forests* 10 (5), 382.

Laserkeilausaikasarjat - puuta kuvaavat mallit, kasvun mittaaminen

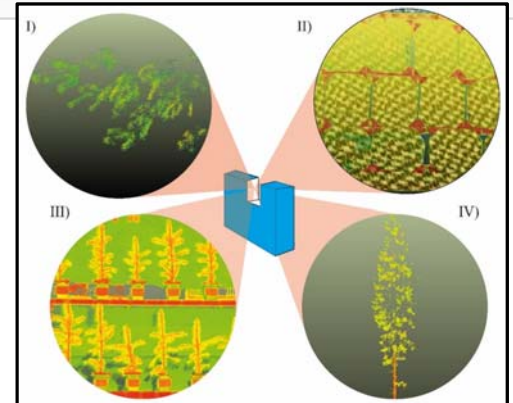
Metsikködynamiikan vaikutus männyn runkomuotoon ja latvusrakenteeseen (Ninni Saarinen)

- Aikaisempien toimenpiteiden vaikutus
 - Ala-, ylä- ja systemaattinen harvennus
 - Normaali voimakkuus ja voimakas harvennus
- Ympäröivän puuston vaikutus
 - Kilpailu
- Latvusarkkitehtuuri
 - Pituus, leveys, tilavuus, epäsymmetrisyys, oksien määrä ja jakautuminen
- Kasvun allokointi
 - Runkokäyrä ja tilavuus

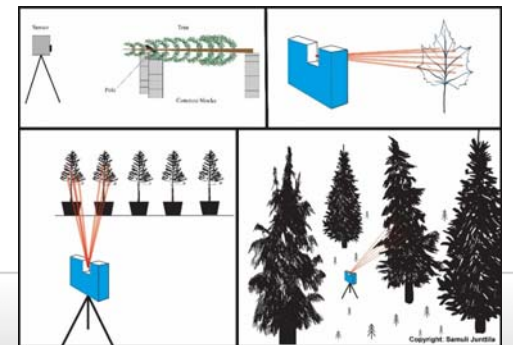


Monikanavalaserkeilauksen hyödyntäminen heikentyneiden puiden tunnistamisessa (Samuli Junttila)

- Kehitetty laserintensiteettiä hyödyntävä menetelmä, jolla voidaan mitata lehtien vesipitoisuus
 - Saavutettu hyvä mittaustarkkuus kontrolloiduissa olosuhteissa
 - Intensiteetin etäisyyskalibrointi vaatii kehittämistä maastomittauksia varten
- Kirjanpainajatuhot pystyttiin havaitsemaan jo alkuvaiheessa ennen latvuksen värimuutoksia
 - Pihkavuotoja voitiin havaita lasermittauksin
 - Neulasten kosteuspitoisuus muuttuu jo tuhon alkuvaiheessa
- Väitös 7.6.2019 infokeskus Korona Sali 235
 - Populääriyhteenveto: Musiikki- sekä videoteos (Idän Proffa – Keilaa puita) julkaistaan väitöskirjan tulosten kanssa



Kuva: Samuli Junttila

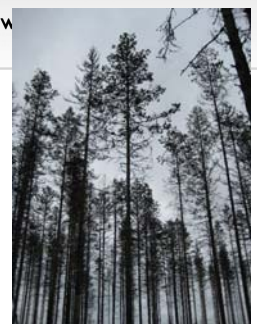


Centre of Excellence In Laser Scanning Research **3D/4D-täsmämetsätalouden tutkimukselliset painopisteet III** **Metsien terveyden monitorointi muutoksessa: Hyönteistuhojen arviointia eri mittakaavoilla (Tuula Kantola)**

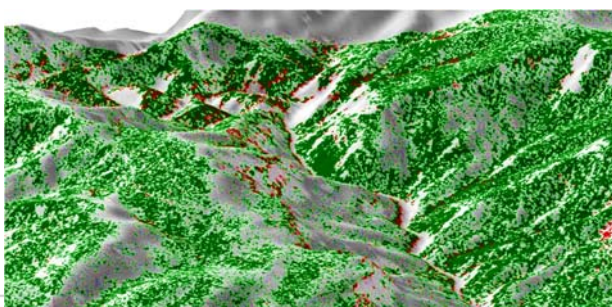
- Tavoitteena tutkia erilaisten hyönteistuhojen tuomia haasteita metsien terveyden monitoroinnissa
- Kaukokartoitusaineiston ja menetelmän valinta tulee tehdä hyönteislajin ja maantieteellisen sijainnin mukaan



Hemlokin villakirvan tappamia puita © Forest Service



Pilkkumäntypistiäisen harsuunnuttamia mäntyjä © Tuula Kantola



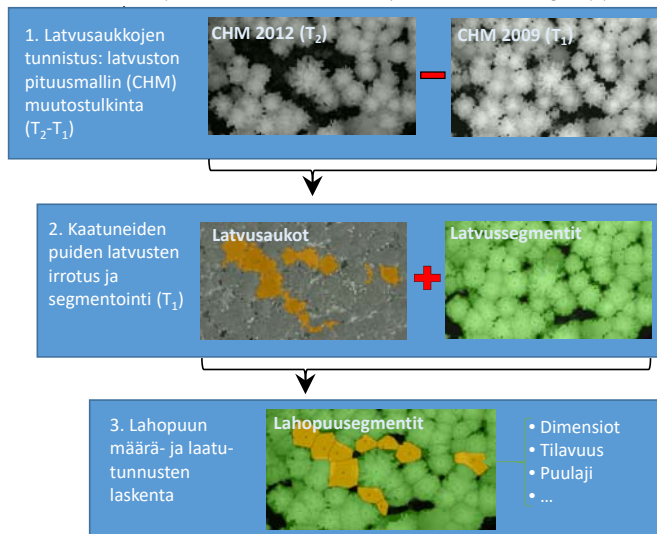
Maisematason luokittelutulos, Aapalakeilta Pohjois-Carolinasta. Punainen = kuollut puu, vihreä = havupuiden kattama alue. 4. osatutkimus.

- Tutkimuksen mittaava vaihteli yksittäisen puun ja mannertason välillä.
- Useita kaukokartoitusmenetelmiä ja spatiaalisia malleja
- Väitös 14.6.2019, klo 12, Metsätieteiden talo, sali B6



Tutkimusalueet Itä-Suomessa, Pohjois-Ruotsissa ja Yhdysvalloissa. Näiden lisäksi globaali spatiaalinen malli hyönteislajin levinneisyysalueesta.

Tanhuanpää, T., Kankare, V., Vastaranta, M., Saarinen, N., Holopainen, M. (2015). Monitoring downed coarse woody debris through appearance of canopy gaps in urban boreal forests with bitemporal ALS data. Urban Forestry and Urban Greening 14 (4), 835–843.



Tunnistustarkkuus

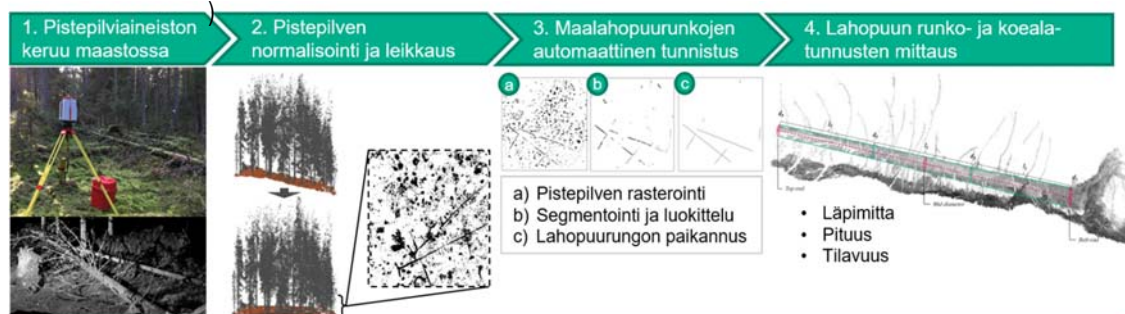
	Completeness	Correctness
ALS-auto	98% (96–100%)	90% (88–94%)

Tilavuuden ennustevirhe

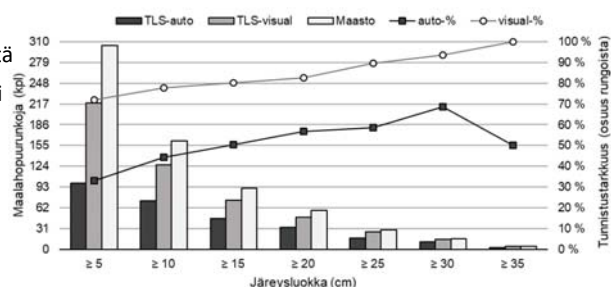
	Bias
Havupuut	-25% (-22 – -28%)
Lehtipuut	76% (21 – 253%)
Kaikki	-17% (-17 – -18%)

- Vallitsevasta latvuserroksesta kaatuneet havupuut tunnistettiin tarkasti
- Lehtilahopuun tunnistustarkkuus oli huomattavasti alhaisempi
 - Haasteita latvuksen segmentoinnissa ja puulajimäärityksessä

Yrttimä, T., Saarinen, N., Luoma, V., Tanhuanpää, T., Kankare, V., Liang, X., Hyyppä, J., Holopainen, M., Vastaranta, M. (2019). Detecting and characterizing downed dead wood using terrestrial laser scanning. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 151, 76–90.



- Maalahopuun määrä ja laatu voidaan selvittää pystypuuston kartoitukseen kerätystä pistepilvestä
- Lahopuun tilavuudesta löydetään automaattisesti 68 %. Tarkkuutta voidaan parantaa pistepilven visuaalisella tulkinnalla.
- Kartoituksen tarkkuus riippuu metsikön rakenteesta, pistepilven laadusta ja lahopuun koosta

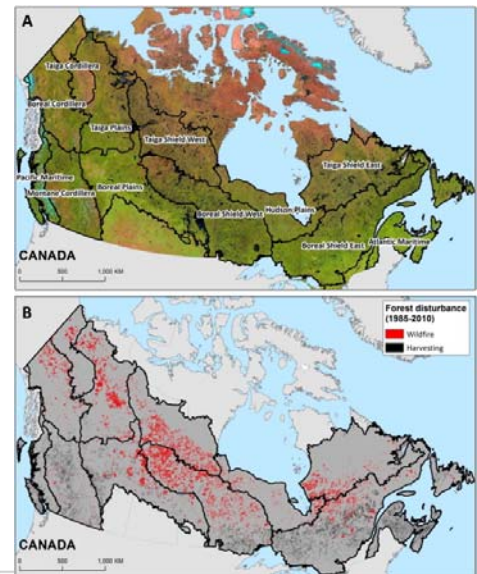


Laserkeilauksen ja satelliittikuva-aikasarjojen yhdistelmä laajoilla alueilla

(Joanne White, väitös 31.5.2019)

Kanadan metsien häiriöiden kartoitus 1985-2010

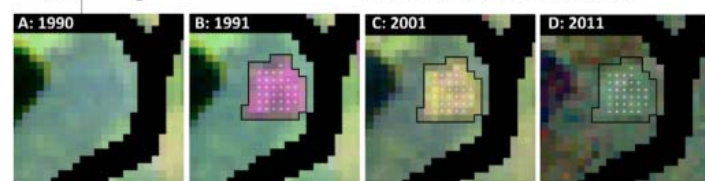
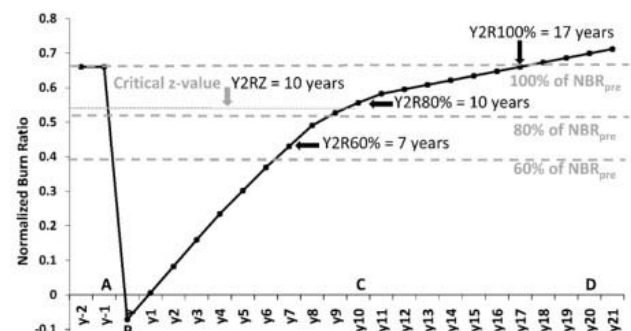
- Landsat-aikasarja 1985-2010 Kanadan metsistä (>650 Mha)
 - Keskenään vertailukelpoiset kuvakomposiitit kullekin vuodelle
 - Muutospiirre sävyarvojen perusteella
 - Päätehakkuiden ja metsäpalojen kartoitus
- Kanadan metsistä 1985-2010
 - 40.6 Mha kärsi metsäpaloista
 - 16.9 Mha päätehakattiin
- Vuosittainen alue vaihteli enemmän metsäpalojen kuin hakkuiden osalta



© CC BY 4.0 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.035>

Päätehakkuun jälkeinen metsän kehityksen arviointi Landsat-aikasarjan ja laserkeilausaineiston avulla

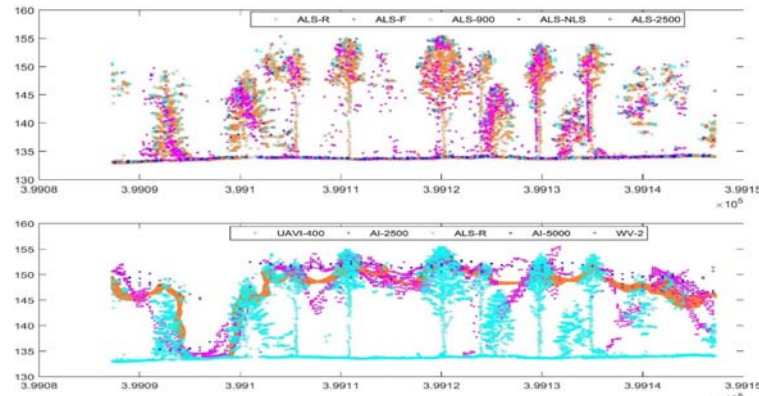
- Noin 5.3 Mha Etelä-Suomessa
- Päätehakkuiden sijainnit, laajuudet ja ajankohdat 1984-2012
 - Muutokset Landsat-aikasarjan sävyarvoissa
- Hakkuun jälkeinen metsän pituus ja tiheys
 - Laserkeilauspiirteet, MML:n aineisto 2008-2013
- Sävyarvojen palautuminen ennen hakkuuta olevaan tasoon
 - Vastasi laserkeilauksesta saatuja metsän pituus- ja tiheystietoja
 - Aika, joka kului palautumiseen



© CC BY 4.0 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.004>

Kohden valtakunnallisen laserkeilauksen toista kierrosta: Mikä on paras tapa tuottaa 3D-kaulukartoitustietoa?

- 3D-kaulukartoitustietoa voidaan tuottaa usealla eri menetelmällä: laserkeilaus, ilmakuvien ja satelliittikuvien fotogrammetrinen tulkinta & SAR-stereomittaukset (radargrammetria ja interferometria)
- Laserkeilaukseen perustuva maaston korkeusmalli (DEM) tarvitaan kaikissa menetelmissä
- Ilmakuvista ja korkean resoluution satelliittikuvista lasketuista pistepilvistä saadaan puuston keskitunnusten estimoinnissa lähes yhtä tarkka tulos kuin lentolaserkeilauksella
- **Keskeistä: vain laserkeilaus tuottaa tarkkaa tietoa puiden piteuden ja puuston tiheyden vaihteluista.** (Vastaranta et al. 2018)



Yu et al. 2015. [Comparison of laser and stereo optical, SAR and InSAR point clouds from air- and space-borne sources in the retrieval of forest inventory attributes](#), Remote Sensing 7 (12), 15933-15954

Tulevaisuuden kaukokartoitusaineistot ja menetelmät – kohden 4D-mittauksia sekä laajempia alueita (globaalit sovellukset)

- Valtakunnalliset laserkeilaukset kaikissa Pohjoismaissa, 2. kierros – lähtökohta metsävaratiedon päivittämiseksi, mukaan lukien puustobiomassa: Suomessa laserkeilaus 6 vuoden välein, ilmakuvaukset 3 vuoden välein, lisäksi metsävaratiedon laskennallinen päivittäminen.
- Monikanavainen laserkeilaus, Yksittäisen fotonin tekniikka laserkeilauksessa
- Satelliitti-Lidar, esimerkiksi NASA:n GEDI (Global ecosystem dynamics investigation) 2018 – puustobiomassan seuranta globaalisti
- Sentinel 1 ja 2, keskiresoluution satelliittikuvia, hyvä temporaalinen resoluutio
- Nanosatelliitit - pienet ja halvat satelliitit
- Hyperspektrisatelliitit: PRISMA (2019), saksalainen EnMAP (2020), ESA:n FLEX (2022)
- Fysikaalisen kaukokartoituksen menetelmät, esimerkiksi metsäkasvillisuutta kuvaavien spektrikirjastojen luominen, joita voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää satelliitti-hyperspektriaineistojen tulkinnassa
- Fluoresenssiin perustuva kaukokartoitus, jossa hyperspektriaineistosta haetaan tietyllä kapealla aallonpituuskanavalla havaittavaa fluoresenssi-ilmiötä, joka puolestaan korreloi puuston terveydentilan ja kasvun kanssa.

➤ Yhteenveto: 5 tärkeää tutkimusteemaa

- Kasvun mittaaminen ja mallintaminen laserkeilausajastuksista – puun laatu, tiheys, kasvupaikan puuntuotoskyky, metsän arvo, hiilensidonta / hiilitasemallit, monimuotoisuus, metsäsuunnittelulaskenta
- fysikaalinen kaukokartoitus – spektrikirjastot, fluoresenssin mittaaminen ja hyödyntäminen käytännön kartoituksissa
- Mobiilikeilausten (mm. hakkuukone, lennokki) ja muun kaukokartoitusdatan yhdistäminen; kohden monilähteistä yksinpuntitulkintaa
- Puuston latvuston alapuolelta / sisältä mittaavan lennokin kehittäminen
- Uusien kaukokartoitusteknologioiden lisäksi tarkempia estimointituloksia voidaan yrittää saavuttaa myös kehittyvien estimointimenetelmien, kuten koneoppimisen avulla.

➤ **Tavoite: Suomi on metsien kaukokartoituksen globaali edelläkävijä ja laboratorio uusien menetelmien kehittämiselle**

➤ Väitöksiä keväällä 2019

- 31.5. Joanne White (Natural Resources Canada): Improving capacity for large-area monitoring of forest disturbance and recovery
- 7.6. Samuli Junntila: Utilizing multispectral lidar technology in the detection of declined trees
- 14.6. Tuula Kantola: Forest health monitoring in transition: Evaluating insect-induced disturbance in forest landscapes at varying spatial scales

Kiitos!

