

MMM, Metsätieto ja sähköiset palvelut, loppuseminaari 22.1.2019

Puuston laatutunnusten mittaaminen ja mallinnus (MMM-laatu)

Helsingin yliopisto (HY, Markus Holopainen, Mikko Vastaranta)

Maanmittauslaitoksen paikkatietokeskus (FGI, Juha Hyyppä)

Itä-Suomen yliopisto (UEF, Matti Maltamo, Tomi Karjalainen)

Luonnonvarakeskus (LUKE, Jaakko Repola, Harri Mäkinen, (Jari Vauhkonen))

Metsäteho (Jarmo Hämäläinen, Tapio Räsänen)

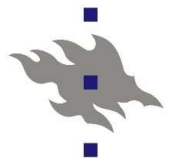
Arbonaut (Jussi Peuhkurinen)



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND



NLS
NATIONAL
LAND SURVEY
OF FINLAND



UNIVERSITY OF HELSINKI



Centre of Excellence
in Laser Scanning Research

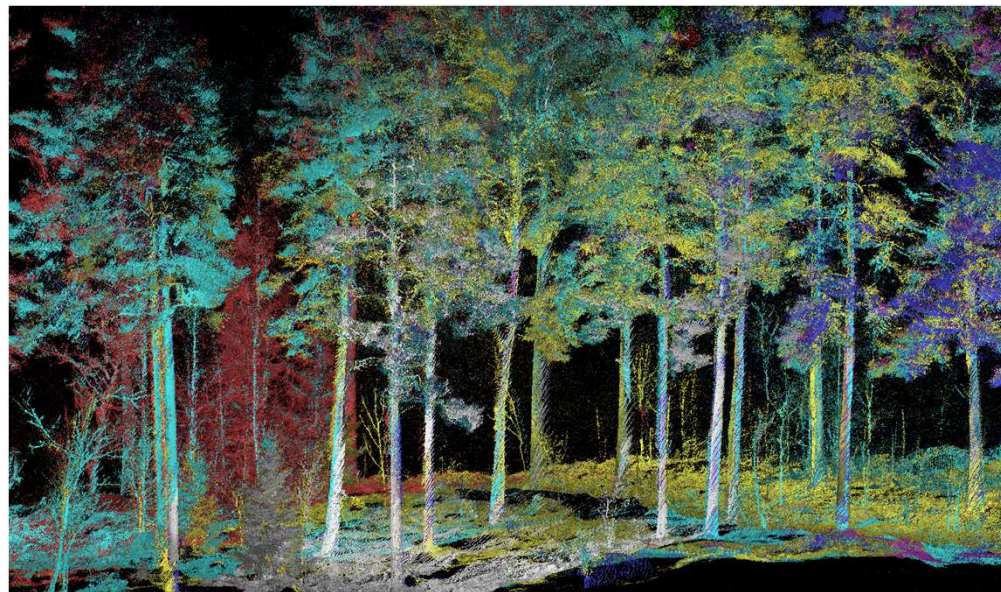


Metsäteho

arbonaut



Luke
NATURAL RESOURCES
INSTITUTE FINLAND



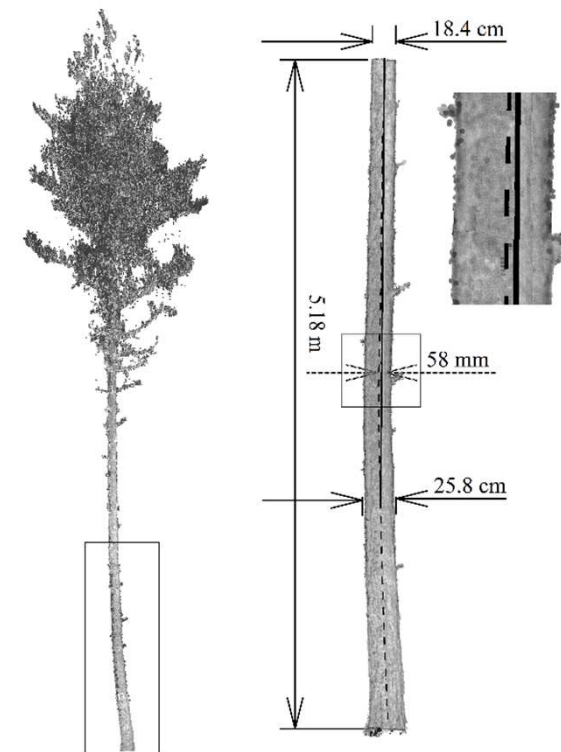
Tavoitteet

- Miksi? Puiden ja puustojen laatutunnusten avulla olisi mahdollista tuottaa lisäarvoa koko puunkorjuun ja –jalostuksen ketjuun.
- Hankkeen päätavoite on kehittää menetelmiä puuston laadun ennustamiseen. Yleisenä tavoitteena on saattaa laatutieto osaksi tulevaisuuden metsävaratietoa. Yksityiskohtaiset tavoitteet ovat seuraavat:
 - 1) Tukkien sisäisen laadun ennustaminen lentolaserkeilauksella (ALS), operatiivinen mittakaava (Metsäteho & Arbonaut)
 - 2) Puuston laatutiedon ennustaminen ja kalibrointi ALS-aineistojen avulla laajoille alueille (UEF&LUKE)
 - 3) Puiden laatutiedon ennustaminen maastolaserkeilaus- (TLS) ja lentolaserkeilaus (ALS)-aineistoilla; tarkkuus, luotettavuus, aineistojen yhdistäminen (HY&FGI)

Puiden ja puustojen laatuun vaikuttavia tekijöitä

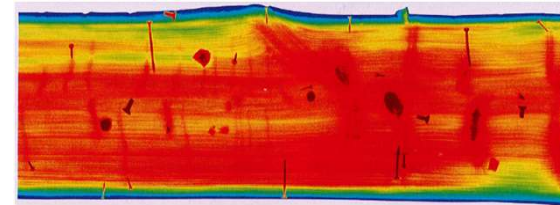
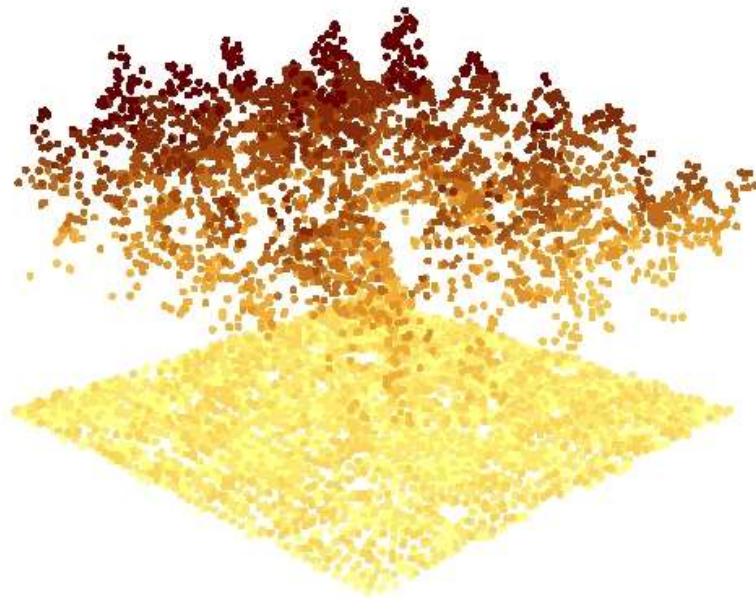
- Oksaisuus (etenkin mänty) - oksien määrä, oksien koko, oksajakauma, oksien / oksaryhmien välinen etäisyys
- Poikaoksat ja korot
- Lenkous
- Järeys

- Sydänpuun osuus
- Vuosilustojen leveys
- Puuaineksen tiheys
- Puun kasvunopeus



Kuva: Jiri Pyörälä

Tukkien sisäisen laadun ennustaminen tukkiröntgenaineistolla opetetulla ALS-mallilla (Metsäteho & Arbonaut)



© Finnos Oy

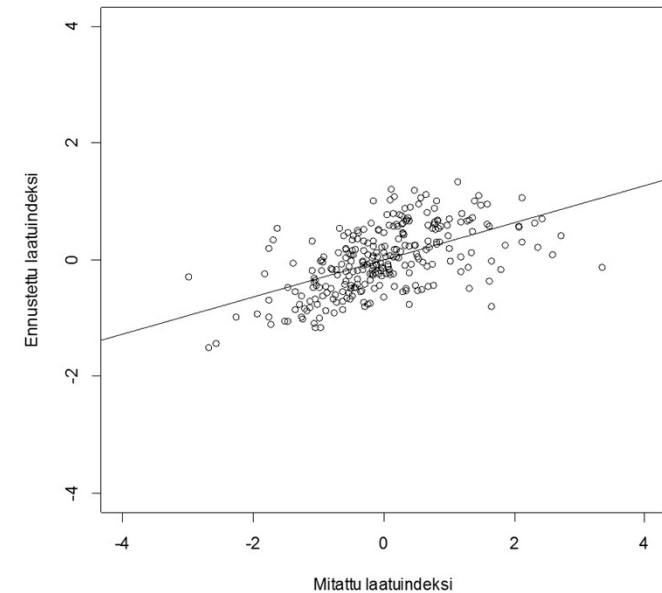
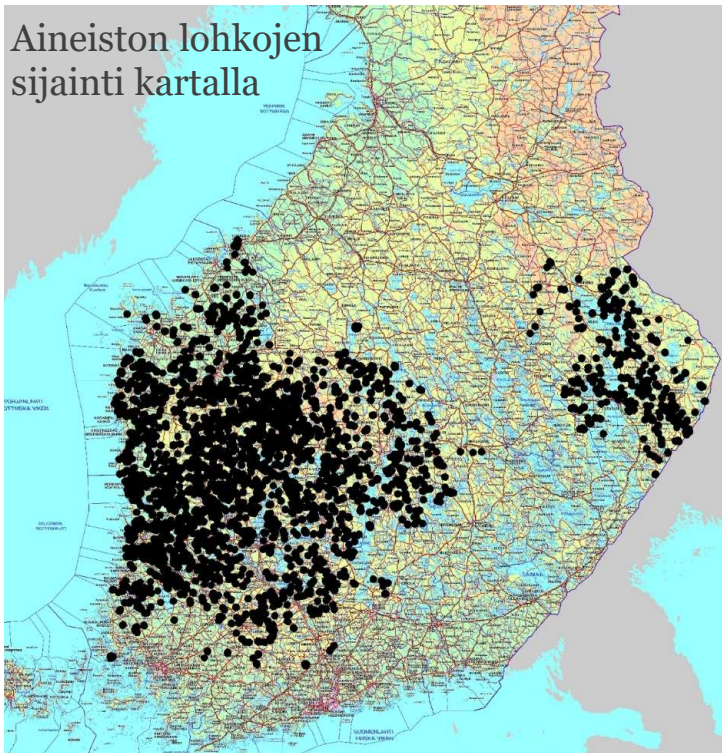
arbonaut

Metsäteho

Aineisto ja menetelmät

Kolmen mäntysahan tukkiröntgenaineistoa useasta tuhannesta kaupasta, laserkeilausaineistoa usealta kymmeneltä keilausalueelta, lähes miljoona hilan solua.

Apuaineistona VMI-karttatieto



- Ennustemallin kehittäminen mäntytukeille
- Ennustettavana laatutunnuksena käytetään laatuindeksiä.
- Yhdistelmä kolmesta tukkiröntgenillä tai tukkimittarilla mitatusta laatumuuttujasta:
 - oksaisuusindeksi,
 - oksaryhmien välinen etäisyys,
 - A-laatuisten tyvien osuus.
- Laatuindeksi standardoidaan, nollaa pienempi keskimääräistä huonompi, nollaa suurempi keskimääräistä parempi.
- Ennustemallissa selittävinä muuttujina: puuston keskikoko (laserpituus), latvusrajaennuste (laserpiirremuunnos), kasvupaikka.

Tuloksia ja johtopäätöksiä (1)

- Sahojen tukkiröntgenaineistoja ja kaukokartoitus- ja kartta-aineistoja (ml. metsävaratieto) yhdistämällä voidaan ennustaa mäntytukkien sisäistä laatua suurille alueille.
- Ennustemallin tulosta tulee tulkita suuntaa-antavana ”paremmuusjärjestyksenä”.
- Tunnus voidaan laskea mille tahansa päätehakkuukohteelle ja sitä voidaan käyttää muut halutut ominaisuudet (puutavaralajikertymä, sijainti, korjuukelpoisuus...) täyttävien kohteiden järjestämisessä laadun perusteella paremmuusjärjestykseen.
- Ennustemallia on mahdollista sovittaa saha- tai tuoteryhmäkohtaiseksi ottamalla siihen mukaan sellaisia tukeista mitattavissa olevia jalostusarvoon vaikuttavia laatutunnuksia, jotka korreloivat selittävien muuttujien kanssa
 - esim. sydänpuun osuus ja vuosiluston leveys.

Tuloksia ja johtopäätöksiä (2)

- Menetelmän kehittämisen haasteena:
 - Eri sahojen tukkiröntgenaineistot eivät ole yhteismitallisia.
 - Paikka ja -ominaisuustiedon yhdistäminen on epätarkkaa.
 - Mittauserät voivat koostua useista korjuulohkoista ja kuvioista, jolloin niitä ei voi yhdistää laserkeilaus- ja paikkatietoaineistoihin.
- Aineistojen keruuta kehittämällä ennustemallia on mahdollista parantaa
 - Sahoilla tehtävien mittausten yhteismitallistaminen ja mittaustietojen standardisointi
 - Hakkuukoneiden katkonta- ja mittaustiedosta laskettujen puuston laatua kuvaavien tunnuslukujen ja paikkatiedon yhdistäminen ennustemallin aineistoiksi.

Puuston laatutiedon ennustaminen ja kalibrointi laseraineistojen avulla laajoille alueille (UEF & LUKE)

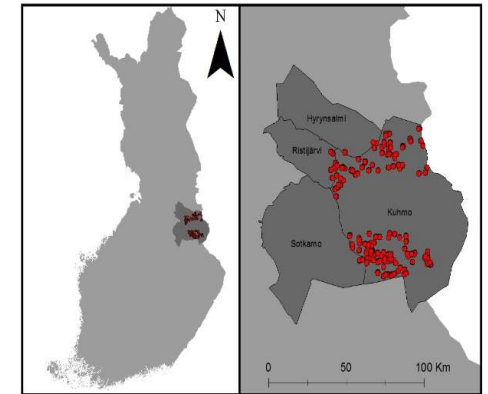
Matti Maltamo, Jaakko Repola, Tomi Karjalainen, Petteri Packalen, Lauri Korhonen ja Jari Vauhkonen

- Tavoitteena selvittää:
 - I Puun **latvusrajan ennustamisen** liittämistä osaksi nykymuotoista (harva laseraineisto, maastokoealat ja tilastollinen yhdistäminen) laserkeilausinventointia
 - II Laatutunnusten, erityisesti latvusrajan, siirrettävyyttä ja kalibrointia eri laserkeilausinventointialueiden välillä
 - III Laserkeilausinformaation hyödyntämistä **männiköiden tukkitilavuuden ennustamisessa** (pystyapteerattujen)



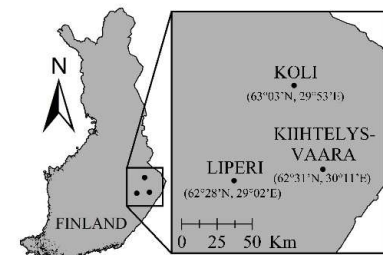
- I "Keskimääräisen latvusrajan ennustaminen puu- ja metsikkötasolla mäntyvaltaisella tutkimusalueella Kuhmossa"

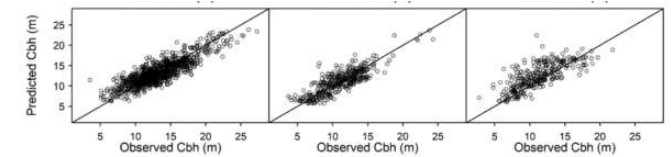
- Latvusrajan yleinen virhetaso (RMSE) 1,1-1,6m
- K-nn yleistys puustotunnuksille, puun läpimitan ja pituuden lisäksi myös latvusraja
 - Yleisesti ottaen paras puukohtaista tietoa tuottava vaihtoehto
 - Sopivin, jos tavoitteena yhteensopivuus nykyinventoinnin kanssa
- Sekamallipohjainen lähestymistapa männyille, puu- ja koealatasen selittäjiä
 - Toimii vain mäntyvaltaisissa metsissä ollen siellä tarkin puutason vaihtoehto
- Koealatasen latvusrajamalli
 - Yleisesti ottaen tarkin vaihtoehto, mutta tuottaa vain koealatasen tietoa
- Laseraineistosta suoraan johdettu "alpha shape" latvusrajan estimaatti
 - Toimii yllättävän hyvin kuusikoissa



- II tavoite "Laatutunnusten puutason siirrettävyys ja kalibrointi" jaettiin kahteen osaan

- a) Epäparametrinen mallitus (k-nn) ja siirrettävyys toisille inventointialueille
- b) Monivastemalli (sekamallitekniikalla) puutunnuksille ja mallin siirto toisille inventointialueille sekä kalibrointi koealakohtaisilla mittauksilla testialueilla
- Mallitusalueena Liperi, testialueina Kiihtelysvaara ja Koli
- Kaikilla alueilla yksinpuintulkinta ja puutunnusten (latvusraja, DBH, tukkitilavuus ym.) tarkastelu



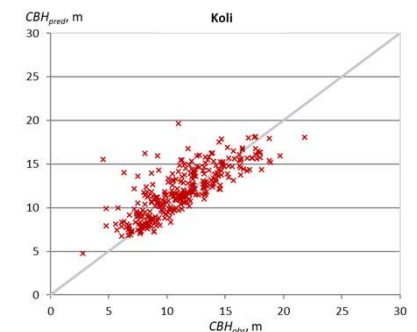
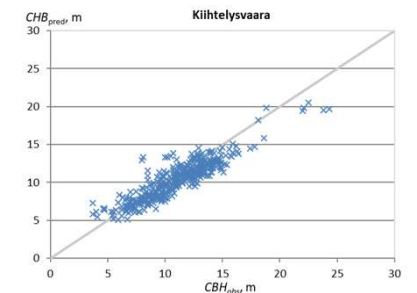


- II a Puutunnusten epäparametrinen mallitus (k-nn) ja siirto toisille laserinventointialueille

- Latvusrajan virhe (RMSE) mallitusaineistossa (Liperi) 1,76 m, Kiihtelysvaarassa 1,68 m ja Kolilla 2,5 m
- Vastaavat suhteelliset luvut tukkitilavuudelle: mallitusaineistossa 39,8%, Kiihtelysvaarassa 56,2% ja Kolilla 51,4%
- Siirrettävyys lisää virhettä, mutta ei radikaalisti kuitenkaan

- II b Puutunnusten sekamallitekniikalla tehty monivastemalli ja sen siirto ja kalibrointi toisille inventointialueille

- Selitettävänä muuttujina latvusraja, DBH ja pituus; selittäjinä puu- ja koealaton laserpiirteet
- Latvusrajan RMSE: Liperi 1,61 m , Kiihtelysvaara 1,4 m m ja Koli 2,07 m
- Malli kalibroitu kolmella puulla koealoittain: Kiihtelysvaara 1,26 m ja Koli 1,86 m
- Sekamalli on robusti ja on kalibroitu onnistuneesti
- Tarkkuus hieman parempi kuin k-nn:llä



- III Männyn apteeratun tukkitilavuuden mallitus koealatasolla laserpiirteiden ja lisäinformaation avulla
 - Tukkitilavuutta käsitellään usein teoreettisena, dimensioihin perustuvana (kuten tavoitteessa IIa), mutta todellinen tukkitilavuus selviää vasta hakkuussa
 - Tässä yhteydessä todellista tukkitilavuutta approksimoitiin pystyapteeraamalla mäntyvaltaiset testikoealat Liperissä
 - Tukkitilavuutta ennustettiin:
 - regressiomallilla apteerattu tukkitilavuus laserpiirteiden ja kasvupaikan avulla
 - regressiomallilla teoreettinen tukkitilavuus +Mehtätalon (2002) teoreettinen tukkivähennysmalli
 - K-nn puulista -ennuste, josta apteerattu tukkitilavuus puittain
 - K-nn puulista -ennuste, teoreettinen tukkitilavuus ja Mehtätalon (2002) tukkivähennysmalli
 - Laserinformaation perustuva tarkin ennuste tuotti metsikkötasolla alimmillaan 21% virheen apteeratulle tukkitilavuudelle, eri vaihtoehtojen virheet välillä 21-33%
 - Lähestymistapa tuotti jopa yllättävänkin tarkan kuvauksen tukkien laadulle



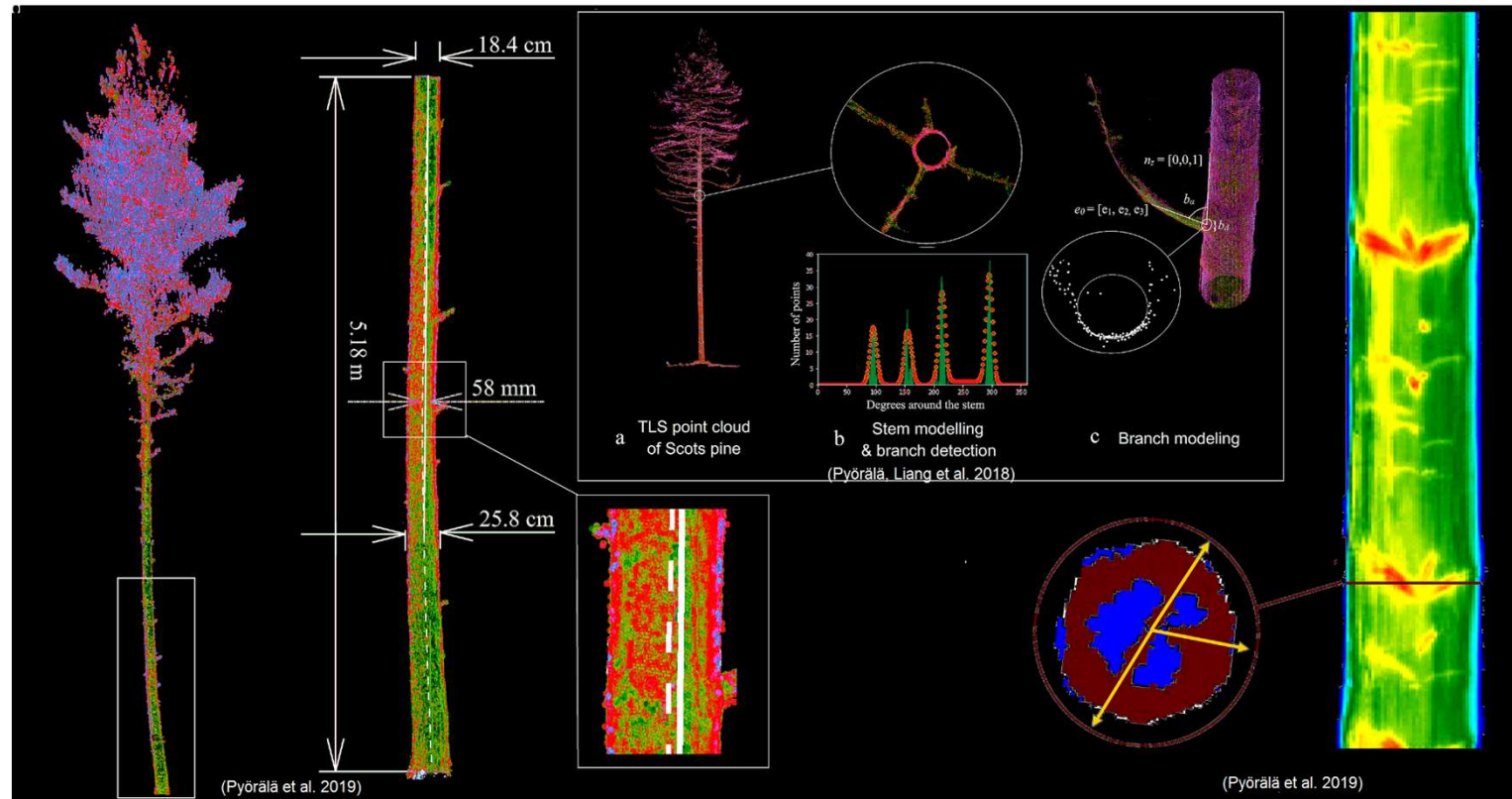
Puukohtaisten laatuindikaattorien mittaaminen TLS-pistepilvistä: yksityiskohtaisen maastotiedon hankinta ALS-pohjaisen tulkinnan referenssiksi (HY & FGI)

- Oksamittaukset:

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

- Runkomittaukset:

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



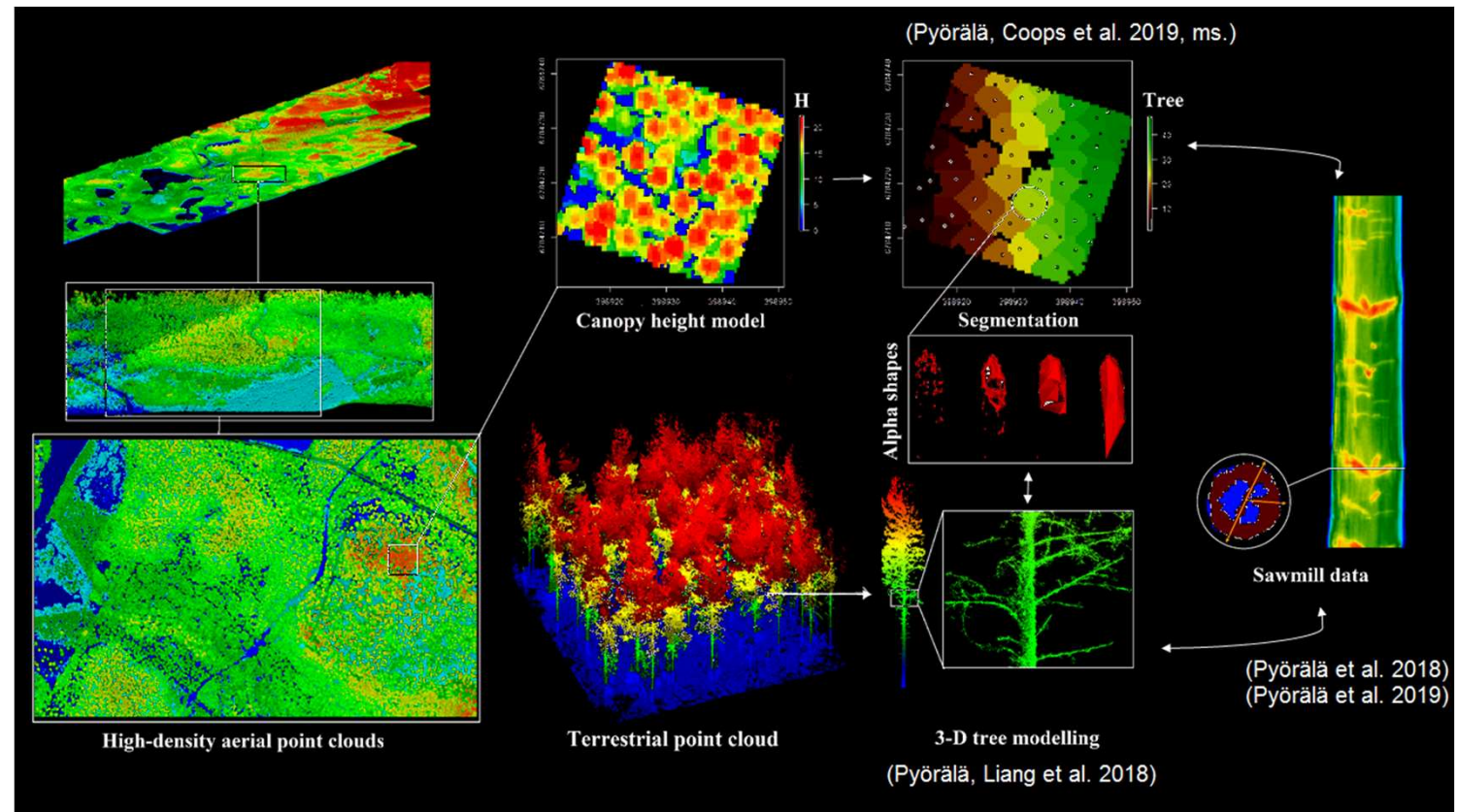
Puuston laatutunnusten mittaus ja mallinnus (MMM-laatu) Johtopäätöksiä

- Sahojen tukkiröntgenaineistoa ja avointa paikkatietoaineistoa (laserkeilausaineistoa) käyttäen voitiin laatia keskimääräistä mäntytukin sisäistä laatua kuvaava ennustemalli, jonka selitysaste oli yli 0,3.
- Jos latvusraja ja apteerattu tilavuus mitataan laserinventoinnin maastokoeloilta, ne voidaan lukea mukaan inventointituloksiin ainakin männyn osalta eli yleistäminen onnistuu; riippuu sovelluksesta onko tarkkuustaso riittävä
- Maastolaserkeilaus (TLS) mahdollistaa maastoreferenssin mittaamisen tukkikoolle, latvusrajalle ja esim. suurimman oksan läpimitalle
- **Jatkotutkimus: TLS:llä hankitun maastoreferenssin ja sahojen tukkitiedon linkittäminen laserinventoinnilla hankittuun latvusraja- ja tukkitilavuustietoon**



Jatkotutkimus / tulevaisuuden visio

1. Leimikon pystypuiden runkokuodon ja oksaisuustietojen mittaaminen TLS:llä (esim. 10%:n otanta koealan puista)
2. 3D -tukkimallit ja sisälaatuennuste, TLS ja sahadatan perusteella (sahadatusta voitaisiin etsiä vastaavia tukkeja kuin leimikon pystypuut)
3. TLS-koepuita yhdistettynä ALS- yksinpuintulkintaan (TLS-koepuiden sijainti, TLS- ja sahamallien siirto ALS-tulkintaan (malli, jossa ALS-piirteillä / tunnuksilla (esim. Latvusraja ja tukkitilavuus) selitetään TLS-mittaustunnuksia ja sisälaatua.
4. Laatuennusteiden (kohta 2) yleistäminen ALS-datalla / edellä kehitetyllä mallilla laajemmille alueille



Hankkeen julkaisut (journal-artikkelit)

- Pyörälä, J.; Kankare, V.; Liang, X.; Saarinen, N.; Rikala, J.; Kivinen, V-P.; Sipi, M.; Hyyppä, J.; Holopainen, M.; Vastaranta, M. 2019*. Assessing log geometry and wood quality in standing timber using terrestrial laser-scanning point clouds. *Forestry*, *in press.
- Pyörälä, J.; Liang, X.; Saarinen, N.; Kankare, V.; Wang, Y.; Hyyppä, J.; Holopainen, M.; Vastaranta, M. 2019*. Assessing branching structure for biomass and wood quality estimation using terrestrial laser scanning point clouds. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *in press.
- Pyörälä, J.; Liang, X.; Vastaranta, M.; Saarinen, N.; Kankare, V.; Wang, Y.; Hyyppä, J.; Holopainen, M. 2018. Quantitative assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) whorl structure in a forest environment using terrestrial laser scanning. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 11:10, 3598-3607.
- Pyörälä, J.; Kankare, V.; Vastaranta, M.; Rikala, J.; Holopainen, M.; Sipi, M.; Hyyppä, J.; Uusitalo, J. 2018. Comparison of Terrestrial Laser Scanning and X-ray Scanning in Measuring Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Branch Structure. *Scand J Forest Res* 33:3, 291-298.
- Karjalainen, T., Korhonen, L., Packalen, P. and Maltamo, M. 2019. The transferability of airborne laser scanning based tree level models between different inventory areas. *Canadian Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0128>
- Karjalainen, T., Packalen, P., Rätty, J. and Maltamo, M. 2019. Predicting the factual sawlog volume in Scots pine dominated forests using airborne laser scanning data. *Käsikirjoitus*.
- Maltamo, M., Repola, J., Karjalainen, T., Korhonen, L. & Packalen, P. 2019. Transferability and calibration of tree level mixed-effects models using airborne laser scanning. *Tarkastukseen lähetetty käsikirjoitus*.
- Maltamo, M., Karjalainen, T., Repola, J. and Vauhkonen, J. 2018. Incorporating tree- and stand-level information on crown base height into multivariate forest management inventories based on airborne laser scanning *Silva Fennica* 52(33) article id 10006. <https://doi.org/10.14214/sf.10006>



Kiitos!

