

Kohti puuhuollon digitalisaatiota

Forest Big Data -hankkeen päätuloksia



Metsätehon tulostalvosarja 11/2016

Jarmo Hämäläinen (toim.)
Metsäteho Oy

Forest Big Data -visio

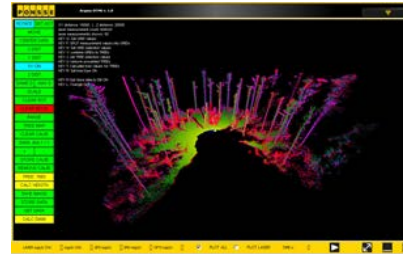
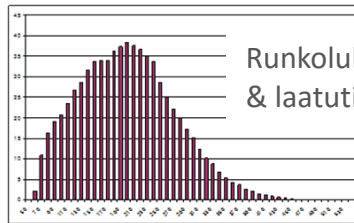
Kaikkia metsäalan toimijoita palveleva seuraavan sukupolven metsävaratietojärjestelmä – metsätietoekosysteemi – joka sisältää nykyistä tarkemmat, monipuolisemmat ja ajantasaisemmat puusto-, maasto- ja tiestötiedot.

⇒ Korkea metsävarojen hyödyntämisaste, kustannustehokkaampi puutavaralogistiikka ja kannattavampi metsänhoito, lisätuottoja arvoketjuun, uusia tuotteita ja palveluja sekä huippuosaamista.

Metsävaratieto on keskeinen osa metsäsektorin infrastruktuuria.

Tarkemmasta metsätiedosta hyötyvät kaikki arvoketjun toimijat.

Tavoitteena nykyistä tarkempi puusto- ja olosuhdetieto ja tehokas eri tietolähteiden hyödyntäminen

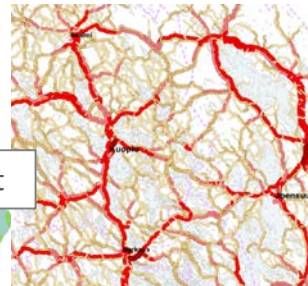
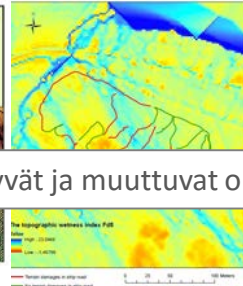
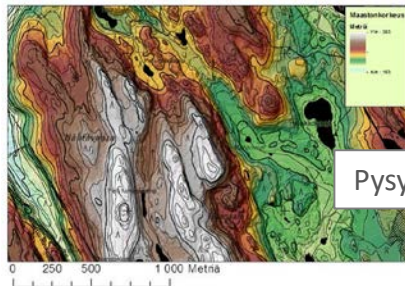
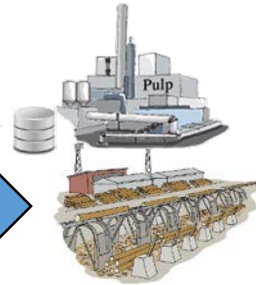


Ref.tieto & päivitys

Sähköinen puukauppa, kehittyvät hinnoitteluperiaatteet, päätöstukijärjestelmät

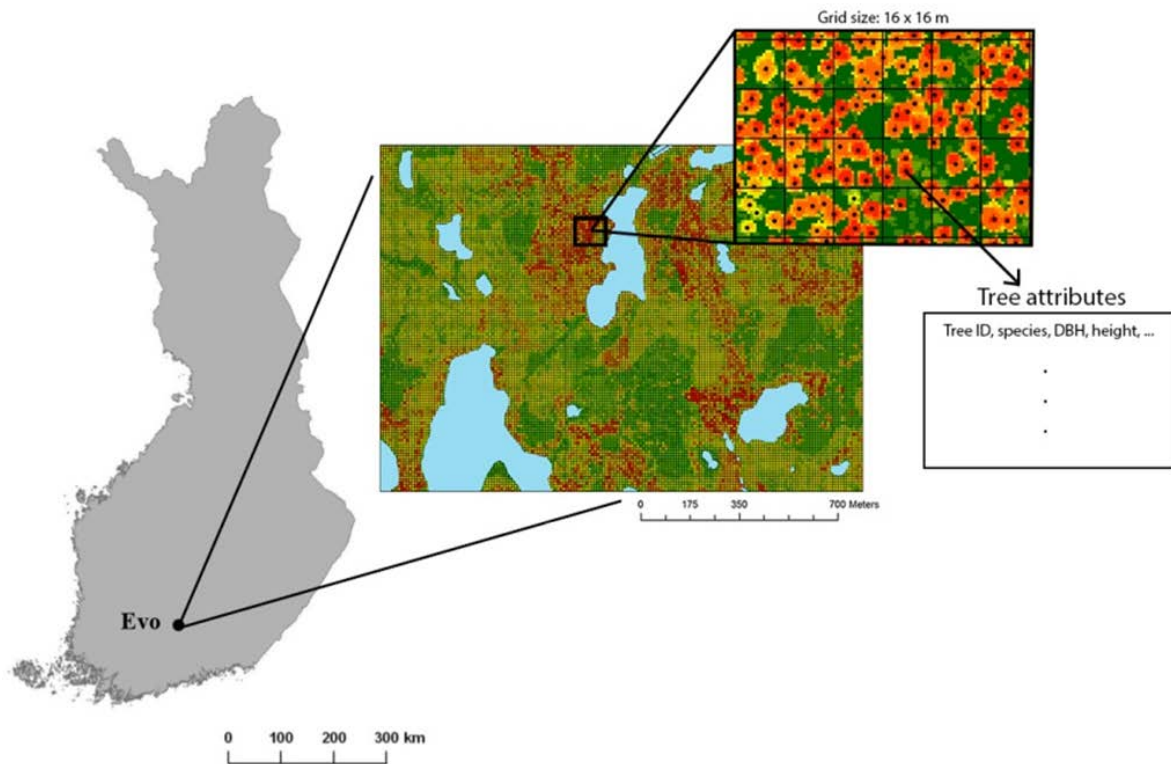
Ohjausinformaatio

Katkonta, puun ohjaus ja kuljetus, päätöstukijärjestelmät



Pysyvät ja muuttuvat olosuhdetiedot

Tulevaisuuden puustotieto perustuu ajantasaiseen hilatason inventointiin sekä runkolukusarjan ja laatutunnusten tarkentamiseen puukohtaisella tiedolla



Lähde: Holopainen ym. 2014

Metsävaratiedon tehokäytöllä iso hyötypotentiaali

Prosessi/toiminto	Liikevaihto/ jalostusarvo, milj. €/v	Mitä hyötyä?
Puunjalostus	3 800	Lisätuotot Kustannussäästöt Työvoimasäästöt Pääomatehokkuus Ympäristötehokkuus Palvelukyky Uusi liiketoiminta
Puun toimitusketju	1 200	
Puuntuottaminen	2 000	
Muita - Metsätalouden edistäminen - ICT-tuotteet ja palvelut - Julkiset palvelut - Muut liiketoiminta-alueet - Kansalaisten palvelut	*	

Arvio kokonaishyödyistä metsäsektorille: 100+ milj. €/v

Hankkeen taustaa

Hanke kuului DIGILE Oy:n (nykyinen DIMECC Oy) johtamaan Data to Intelligence -tutkimusohjelmaan. Ohjelman tavoitteena oli kehittää älykkäitä menetelmiä heterogeenisten datamassojen käsittelyyn, analysointiin ja hyödyntämiseen.

Lisätietoja:

<http://www.dimecc.com/dimecc-services/data-to-intelligence/>

Ohjelma jakautui seitsemälle eri liiketoiminta-alueelle, joista yksi keskittyi metsäsektoriin nimellä ”Forest Big Data” (1/2014–6/2016).

Forest Big Data -hankeen partnerit

Yritykset	Tutkimustahot
Arbonaut	Aalto yliopisto
Finnish Wood Research (FWR)	Maanmittauslaitoksen paikkatietokeskus (FGI)
Metsähallitus	Luonnonvarakeskus (Luke)
Metsä Group	Tampereen teknillinen yliopisto
Metsäteho	Helsingin yliopisto
Ponsse	VTT
Savcor	Itä-Suomen yliopisto
Simosol	
Stora Enso	
TimberVision	
Trestima	
UPM	

+ Suomen metsäkeskus

Keskeiset FBD:n T&K-kysymykset

1. Miten mitataan ja mallinnetaan?

=> tarkemmat puusto-, maasto- ja tiestötiedot kustannustehokkaasti

2. Miten heterogeeniset datat yhdistetään ja välitetään?

=> FBD-platform (palvelualusta)

3. Miten datoista saadaan lisäarvoa?

=> soveltamiskonseptit ja pilotit

+ *erilliset sovellushankkeet: uudet tuotteet ja palvelut*

Esimerkkejä tutkimustuloksista

Maastolaserkeilauksesta saadaan yksityiskohtaiset puutunnukset

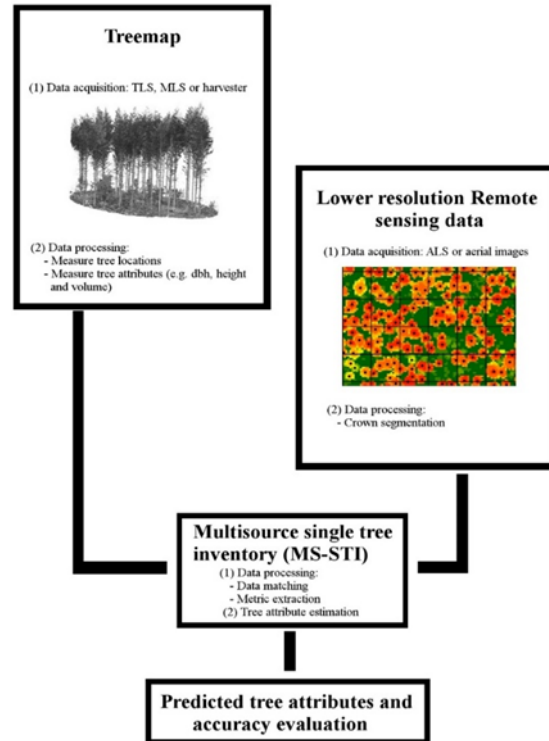


Mustat pisteet
ilmalaserkeilauksen (ALS)
pistepilvi

Vihreät pisteet
Maastolasekeilauksen (TLS)
pistepilvi

Menetelmä tarkemman puustotiedon hankintaan

- Monilähteinen yksinpuintulkinta (MS-STI, Multisource single-tree inventory) yhdistää tarkan, esimerkiksi maastolaserkeilauksella tuotetun puukartan ja matalamman resoluution kaukokartoitusaineiston puutunnusten ennustamisessa.
- Maastolaserkeilauksella (TLS) – tai tulevaisuudessa hakkuukoneella – tuotettu puukartta sisältää ennustamisessa tarvittavat puutunnukset (puutavaralajit, laatu jne.), mistä syntyy tämän lähestymistavan merkittävin lisäarvo perinteisin mittausmenetelmiin verrattuna.



Paikannustarkkuudessa on parantamisen tarvetta

Testitulos 2D paikannustarkkuudesta liikkeessä

GNSS laite	RMSE (m), kahden ajokierroksen keskiarvo			
	Nuori mäntymetsä	Nuori kuusimetsä	Kypsä mäntymetsä	Kypsä kuusimetsä
Käsinavigaattori	9.3	8.5	8.2	7.7
Yksitaajuusvastaanotin, A	4.2	4.8	4.7	4.6
Yksitaajuusvastaanotin, B	5.5	6.8	6.1	6.8
Yksitaajuusvastaanotin, jälkilaskenta, B	5.9	7.7	6.6	6.9
Kaksitaajuusvastaanotin	7.6	31.4	27.2	49.3
Kaksitaajuusvastaanotin, jälkilaskenta	0.8	1.3	1.9	2.7

Kehittyvät satelliittiaineistot avaavat uusia mahdollisuuksia

Aineistolähde	Avoh.	Harv.h.	Vesakko	Maapeite-luokka	Tilavuus ym.	Puulaji	Metsä-tyyppi	Ilmak. tilalla
Sentinel-2 (10 m)	***	**?	***	***	**	**	**	*
Landsat (30 m)	***	*?	**	**	**	**	**	*
Sentinel-1 tutka (~20 m)	*	-	-	*	*	-	-	(*)
ALOS-2 tutka (~20 m)	**	?	-	*	**	-	-	(*)
0,5 m erotuskyky optinen	***	***?	***	***	**	***	**	***
1 m erotuskyky tutka	*	-?	-	*	*(*)	-	-	(*)

*** Suurin potentiaali

* Pienin potentiaali

Laskettujen tuotteiden kustannusten kertaluokka:

- Sentinel, Landsat €0,01/ha (kuvat ilmaisia)
- 0,5 – 2 m optinen €0,2 /ha (pienellä kohdealueella kalliimpi kuvien hinnan takia)

Vaihtoehtoisia malleja puuston kokojakauman muodostamiseen

Vertailtavat inventointimenetelmät

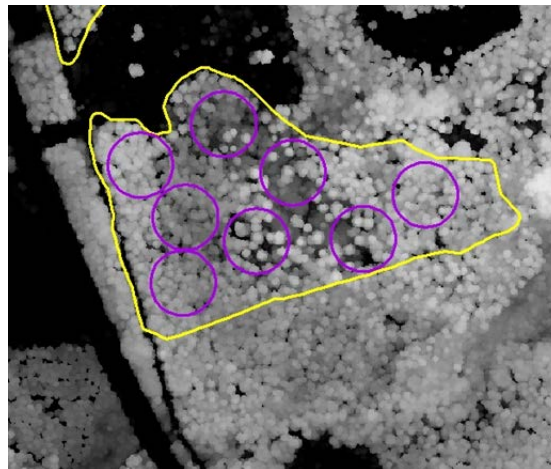
- Ilmasta tehdyn laserkeilauksen aluepohjainen tulkinta (ABA)
 - hilataso (ABA grid)
 - metsikölle keskiarvoistettu hilatieto (ABA stand)
- Trestima-mobiilisovellus
 - tulkinnassa mukana 10 kuvaa (Trestima 10)
 - tulkinnassa 5 kuvaa (Trestima 5)
- EMO-menetelmä (Jori Uusitalo) (EMO)
- Vertailut tehdään hakkuukoneen dataan (Cut trees)
 - Seitsemän päätehakkuuleimikkoa Evon ympäristössä
 - Keskitilavuus 340 ja tukkia 270 m³/ha
 - Pohjapinta-ala 30 m²/ha ja keskiläpimitta 30 cm

Todellinen ja suhteellinen RMSE tilavuustunnuksissa eri menetelmillä.
Paras menetelmä **lihavoitu** ja huonoin menetelmä *kursiivilla*

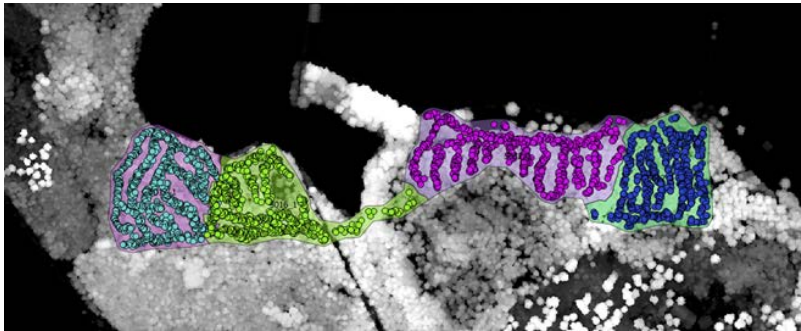
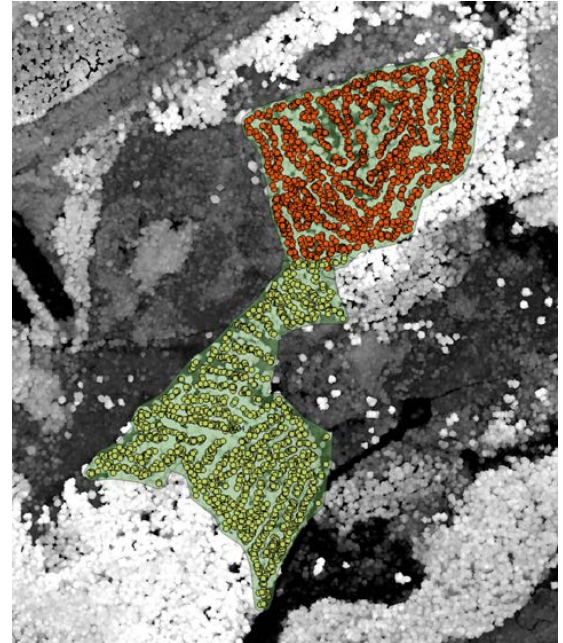
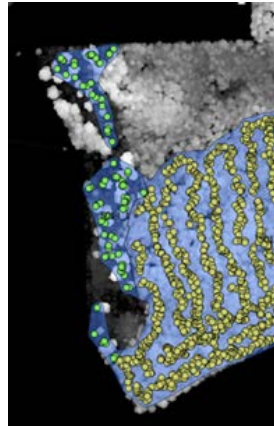
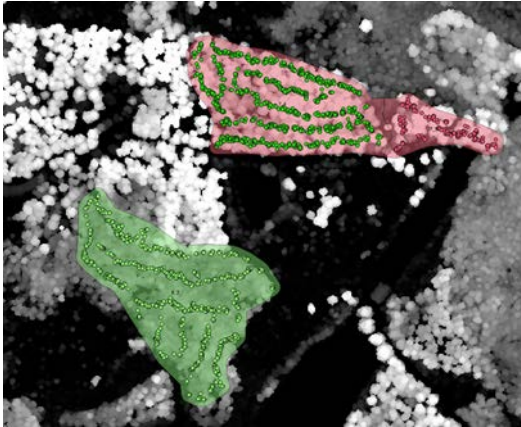
ABA hila	Tilavuus, m ³ ha ⁻¹	Tukki, m ³ ha ⁻¹	Kuitu, m ³ ha ⁻¹	RMSE	Tilavuus %	Tukki %	Kuitu %
Mänty	77.7	60.0	20.3		41.1	40.1	52.8
Kuusi	140.0	125.5	14.4		104.6	110.4	76.3
Yhteensä	111.3	106.1	11.9		32.7	39.3	17.3
ABA kuvio							
Mänty	77.3	60.4	20.5		40.9	40.3	53.5
Kuusi	141.7	130.4	15.9		105.9	114.8	84.4
Yhteensä	115.2	111.6	20.7		33.8	41.4	30.3
Trestima 5							
Mänty	79.0	66.0	20.8		41.9	44.0	54.3
Kuusi	85.1	79.9	7.6		63.6	70.3	40.5
Yhteensä	146.9	126.9	26.9		43.2	47.1	39.3
Trestima10							
Mänty	65.3	51.8	18.9		34.6	34.5	49.3
Kuusi	67.1	61.6	6.7		50.1	54.2	35.4
Yhteensä	129.2	109.6	25.0		38.0	40.6	36.5
EMO							
Mänty	34.4	27.0	8.2		18.2	18.0	21.3
Kuusi	138.3	119.6	17.8		103.3	105.2	94.7
Yhteensä	166.0	133.2	33.4		48.8	49.4	48.8

Nykyisen hakkuukonemittaustiedon käyttö laserkeilauksen referenssinä lupaavaa

- Laskentaketju tuottaa maastomittausten kanssa yhteensopivaa puustotietoa (pl. runkoluku).
- Suositeltavaa käyttää erillistä mallinnusta päätehakkuumetsiin, joista ulosmitattavissa suurin hyöty.
- Sijaintitarkkuutta parannettava, nykyisellä tarkkuudella suuri riski saada ”huono otos”.
- Aineistossa on suuri potentiaali, joka on saatavissa käyttöön pienillä parannuksilla nykyiseen.



Hakkuualan rajat voidaan tuottaa automaattisesti hakkuukonedatasta



Metsäkoneiden sensoritekniikka kehittyi

Hankkeessa rakennettiin kaksi edullisen 3D-laserkeilaimen prototyyppiä metsäkonetta varten sekä ohjelmistoa reaaliaikaiseen pistepilvitiedon käsittelyyn.

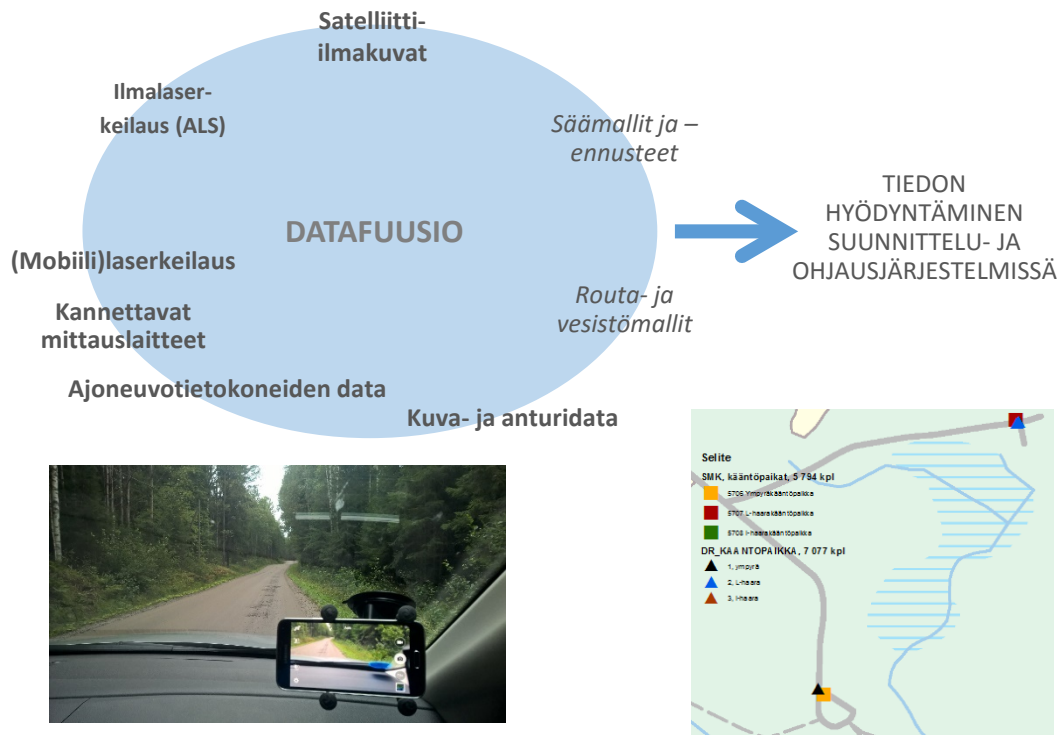
1. Pyörivä laserkeilain, jossa 45° kulmaan asetetut 2D-laserkeilaimet
 - Integroitu IMU liikkeen mittaamiseen
2. Metsäkoneen puomin kylkeen asennettu 2D-laserkeilain
 - Puomin kulmamittauksen käyttö
 - Mahdollistaa myös puomin asennon mittauksen heijastimien avulla



Tiestö- ja kuljetusdatan visio 2020

- Käytössä on ”**Forest Digiroad**”, joka kokoaa valtakunnallisesti ja ajantasaisesti yhteen metsäautoteitä koskevan pysyväluontoisen tiedon.
 - Metsätietietofoorumi määrittelee tietoaineiston sisällöt sekä tiedon tuottamisen, jakamisen ja hyödyntämisen pelisäännöt.
- Käytössä on metsäautoteiden ajantasaisen **keli- ja muun olosuhdetiedon tietopalvelu**.
 - Metsäautoteillä ja muilla puukuljetusreiteillä kulkevat ajoneuvot ja kuljettajat tuottavat jatkuvasti ja mahdollisimman automaattisesti olosuhdedataa tietopalveluun.
- Yhteenkootun ja ajantasaisen tiestödatan sekä siitä jalostetun tiedon **hyötyjä** ovat
 - lisääntynyt metsäsektorin eri prosessien ja tiestön kunnossapidon kustannustehokkuus
 - parantunut tiellä liikkumisen turvallisuus
 - tiestön vaurioitumisriskien pienentyminen.
- **Tiestö- ja olosuhdedata**
 - Syntyy pääosin julkisen ja yksityisen sektorin eri prosessien osana ja on pääosin vapaasti ja maksutta eri toimijoiden käytettävissä.
 - Dataa jalostavat lisäpalvelut synnyttävät uutta digitaalista liiketoimintaa.

Uusi teknologia tukee tiestötiedon hallintaa

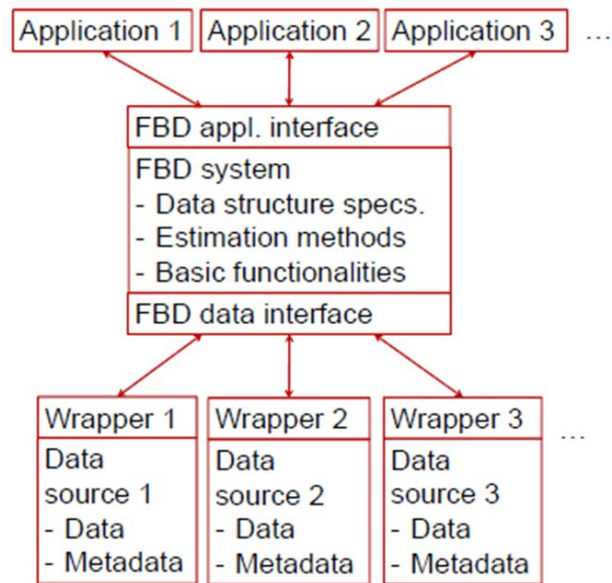


Uusi palvelualusta tehostamaan metsätiedon hyödyntämistä

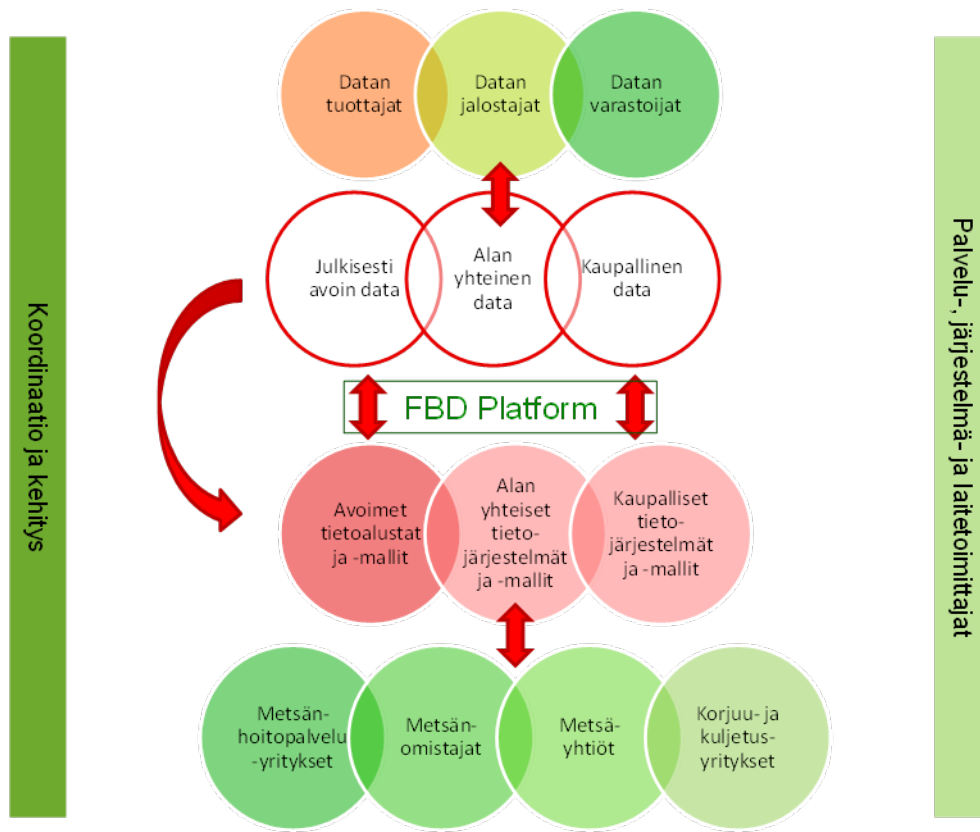
Hankkeessa kuvattiin ja demonstroitiin Forest Big Data - Platform, jonka tehtävänä on

- yhdistää ja ajantasaistaa eri tietoaaineistot ja
- välittää ne käyttöön.

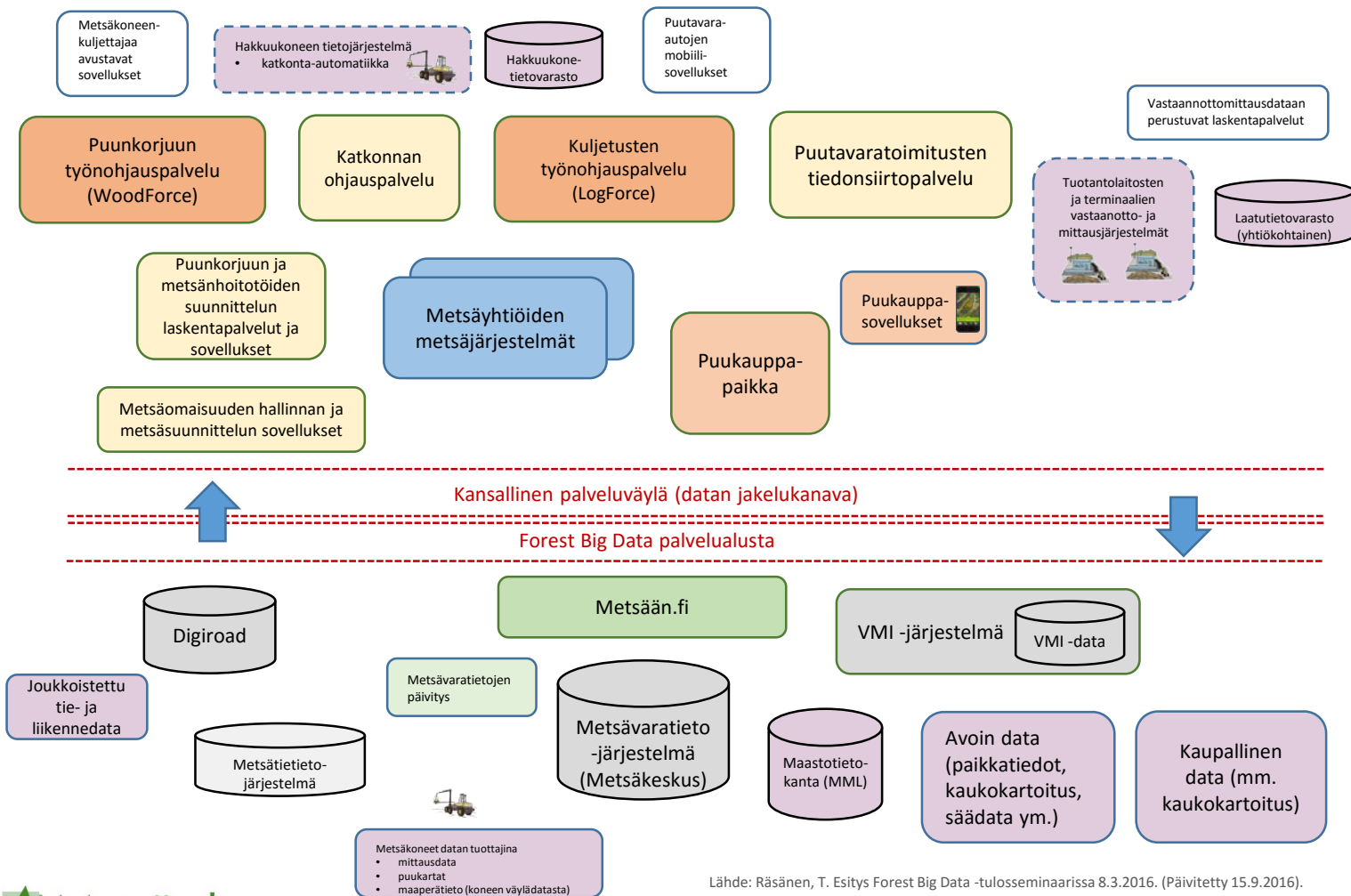
Tavoitteena on helpottaa koko ajan monipuolistuvien, heterogeenisten aineistojen hyödyntämistä ja vauhdittaa niihin perustuvaa sovelluskehitystä.



Metsätietoekosysteemin toimijoita ja järjestelmiä



Metsätiedon ekosysteemi – esimerkkejä tietolähteistä ja sovelluksista



Lähde: Räsänen, T. Esitys Forest Big Data -tulosseminaarissa 8.3.2016. (Päivitetty 15.9.2016).

Esimerkkejä yritysvetoisista konseptitestauksista

Dynaaminen metsäsuunnitelma

Polttoainetta kaupan käyntiin



- Muodostetaan tarjolle leimikoita, joista käydä kauppaa
 - Myyjä tietää paljonko kunkin leimikon osalta tingitään tilan maksiminettykyarvosta
 - Ostaja tietää mitä ja minkä laatuista puutavaralajeja leimikosta voidaan korjata
- ⇒ Tarvitaan dynaaminen metsäsuunnitelma
 - Metsäsuunnitelma: koska siinä tarkastellaan metsän omistamisen kannattavuutta pitkällä aikavälillä
 - Dynaaminen: koska suunnitelma pitää sisällään leimikoita, ei kuvioita. Kaksi saman tilan erilaiselle leimikon keskikoolle laadittua suunnitelmaa pitää sisällään erilaiset leimikot

Simosol Oy

Yhteenvetona

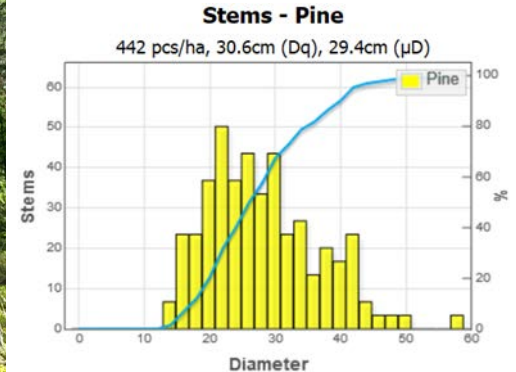


- Vaihe 1: jalostetaan "avoin big data" hyväksi leimikkokandidaateiksi, jotka täyttävät sekä myyjän että ostajan tavoitteet
- Valinnainen vaihe 2: tarkennetaan tiedon tarkkuuden taso ennen päätöksentekoa
- Tulos: metsäsuunnitelma tehdään aina silloin kun se todella merkitsee

Lisätietoja: Jussi Rasinmäki, Simosol Oy

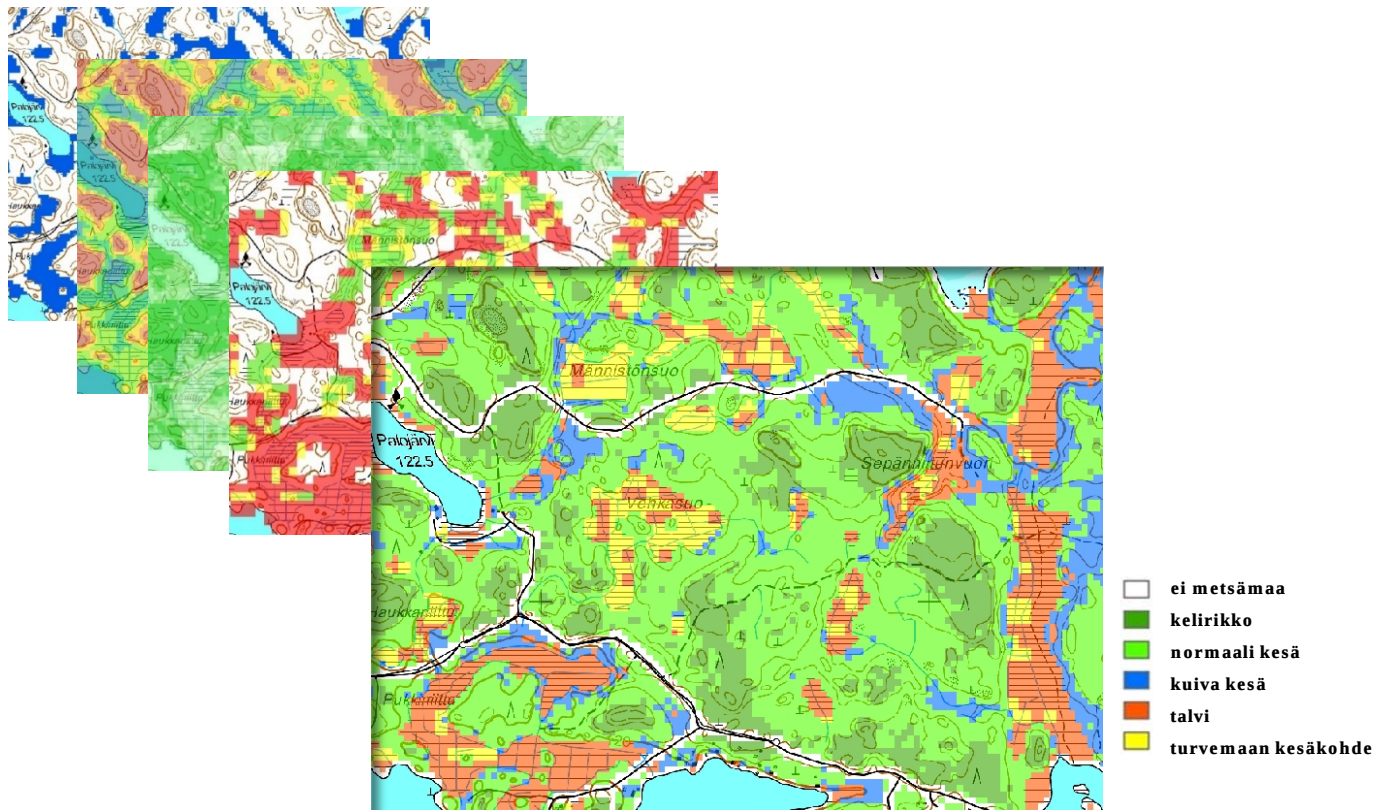
Simosol Oy

Puun laadun mittaaminen kuvista



- Lähtökohtana TRESTIMA-mittaus, jolloin järeys tunnetaan.
- Tulokset varsin lupaavia.
- Nyt tutkittu vain mäntyä -> Koivulla ja kuusella eri haasteet.
- Laadutus vaatii hyvän kameran ja isomman kuvaresoluution.
- Laadutukseen tarvitaan iso otos runkoja -> normaalia mittausta enemmän kuvia.
- Rungosta näkyy vaakatasokuvissa 5-8m -> yläosan laatu joko tilastollisesti tai pystykuvilla.
- Tarve sovituille ja normalisoiduille laatusuureille.

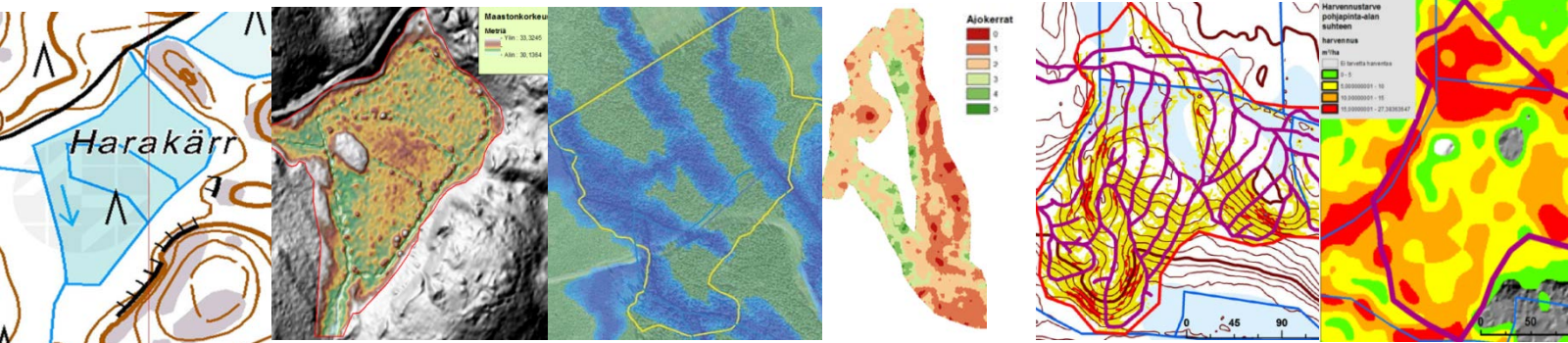
Maaston korjuukelpoisuusluokitus



Monilähdetietoa hyödyntävien karttaopasteiden tarve puunkorjuussa (kyselytutkimus hakkuukoneenkuljettajille)

- Tiedon tarve ja karttaopasteiden merkitys hakkuukonetyössä oli yhtä suurta kokemustasosta riippumatta.
- Monet esitetyistä karttaopasteista olisi tarpeellisia jo hakkuuajankohdan määrittämisessä ja leimikon ennakkosuunnittelussa.
- Kulkukelpoisuuden tarkempi esittäminen pehmeillä maapohjilla ja rinnekohteissa koettiin hyvin tarpeelliseksi.
- Tarkkaan maastomallikarttaan laadittu ajouraennuste koettiin hyväksi.
- Muutama karttaopaste olisi riittävä korjuun tukena. Adaptiivinen, käyttäjäpersonoitu karttaopastus toiveena, säätilan huomioon ottoa ennusteeseen toivottiin.

Lähde: Kauppinen ym. 2016

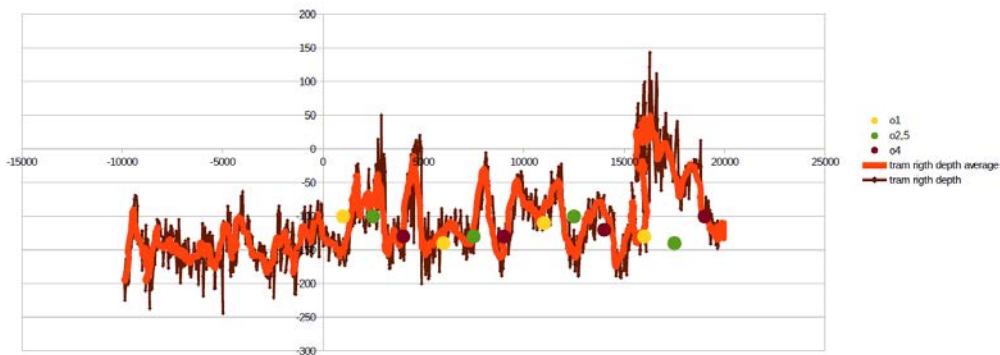


Lisätietoja: Kari Väätäinen, Luke ja Kalle Einola, Ponsse Oyj

Metsäkoneen urapainumat 2D-laserilla



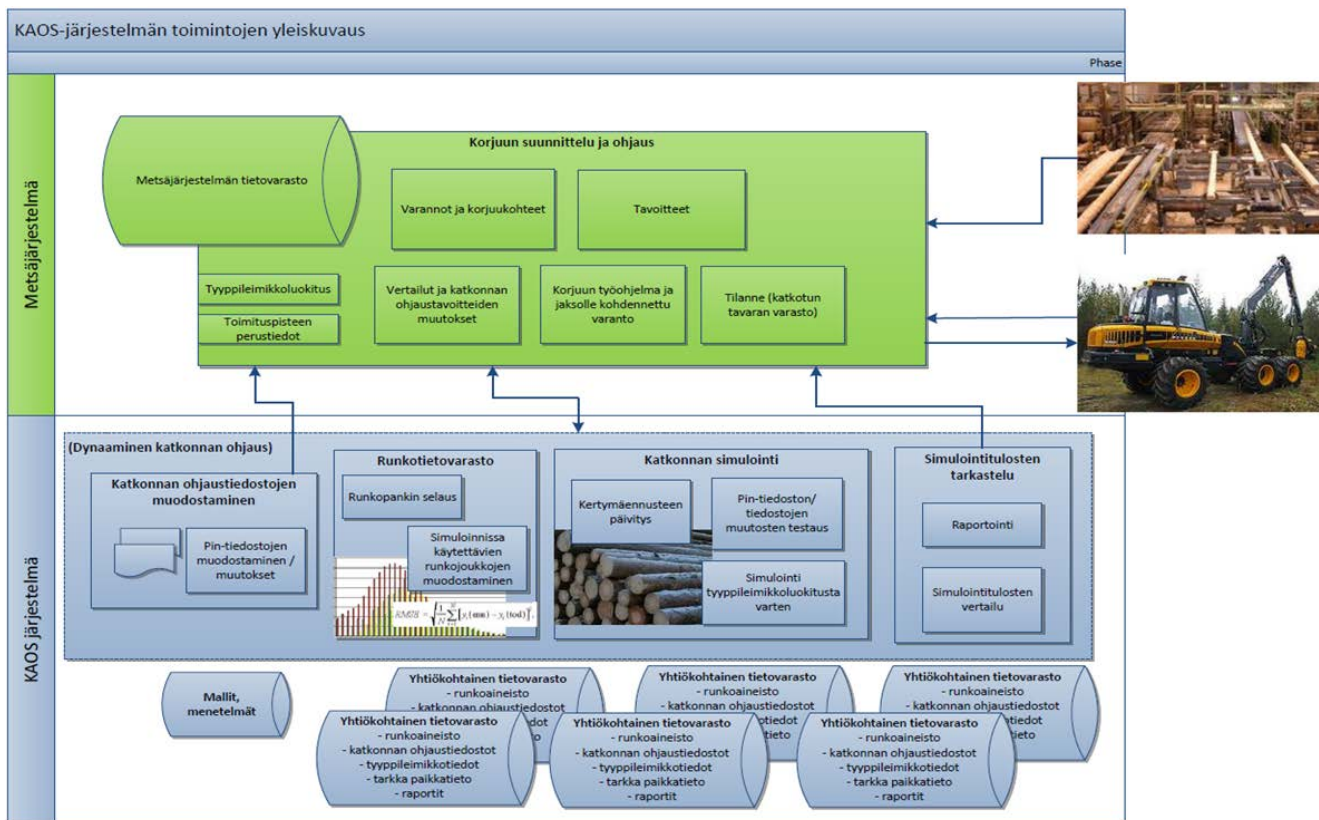
Esimerkkitus - painuman syvyydet kuljetun matkan funktiona (mm)



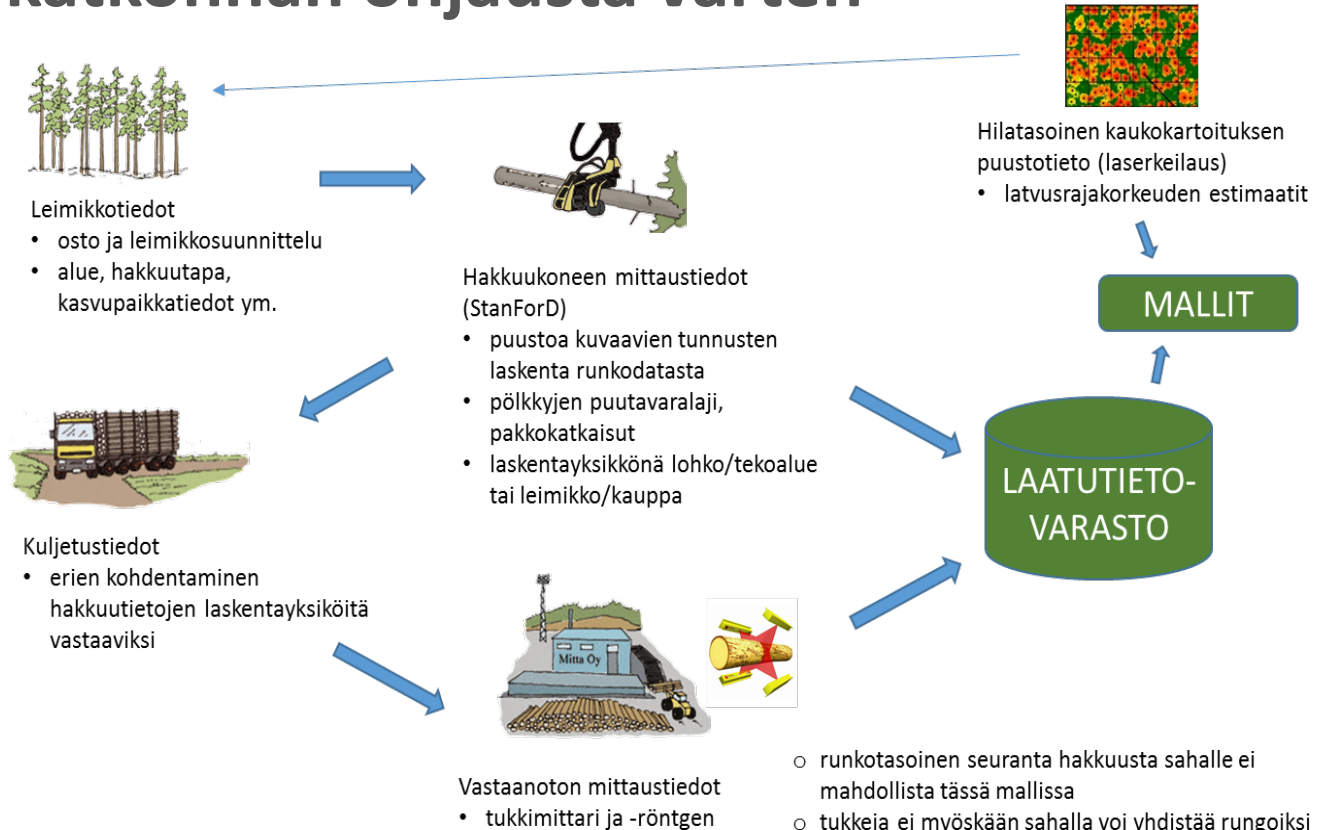
Johtopäätökset

- Automaattinen mittaus toimii
- Voidaan mitata samanaikaisesti sekä liike että urapainumat
- Mittaustarkkuus jopa odotettua parempi

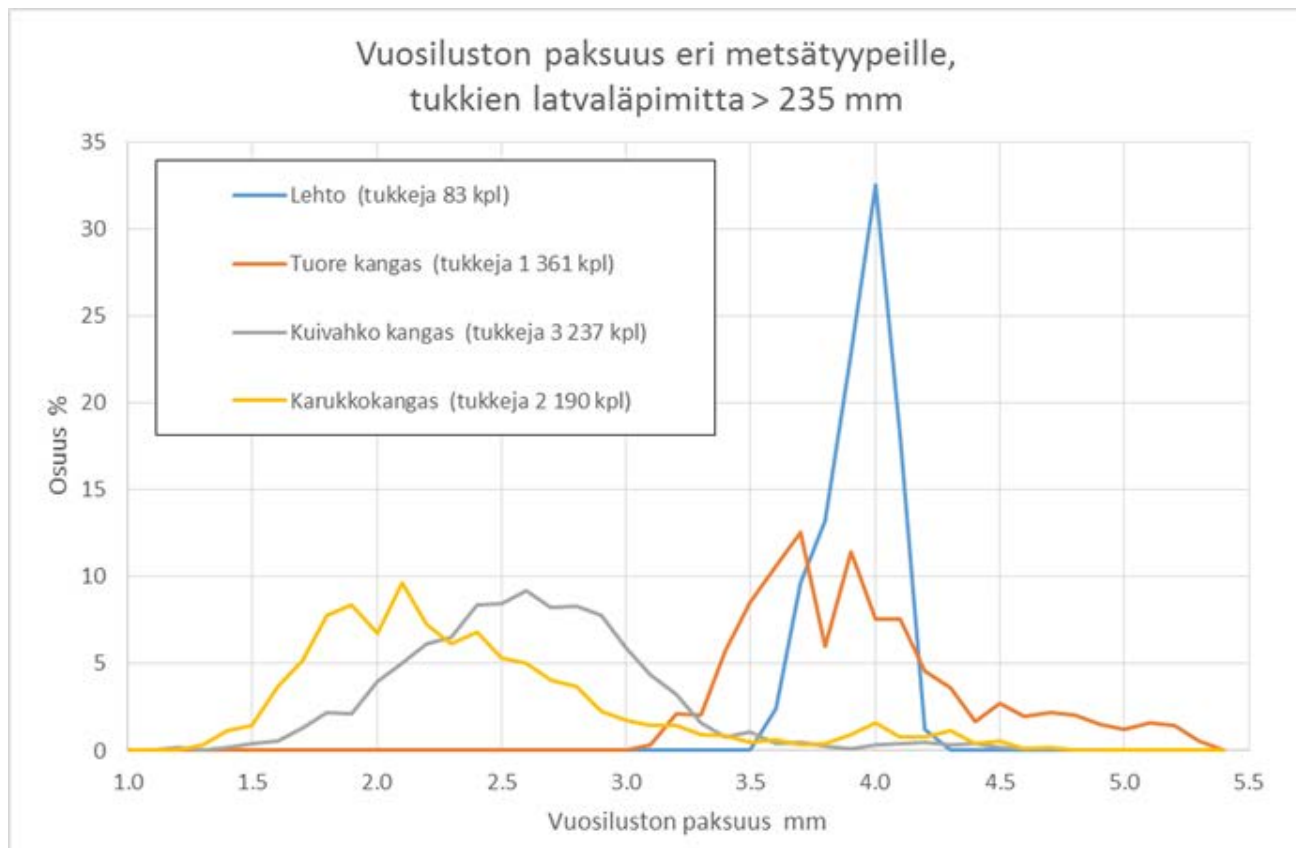
Kehittynyt katkonnan ohjaus ja simulointi (KAOS)



Laatutietovaraston muodostaminen katkonnan ohjausta varten



Tukkiröntgendata puun laadun hallinnassa – esimerkki tarkastelusta



Lähde: Räsänen ym. 2016

Yhteenveto tuloksista

- **Forest Big Data** -vision määrittely – seuraavan sukupolven metsävaratietojärjestelmän periaatteet, sisältö ja hyödyt.
- Uusien **inventointi- ja mallinnusmenetelmien** kehittäminen tarkempien puustotietojen tuottamiseksi – erityisesti runkolukusarjat ja tietojen ajantasaistus.
- **Hakkuukoneen mittaustietojen** hyödyntämiskonseptin kuvaus ja testaus – kaukokartoituksen referenssitieto & metsävaratietojen päivitys.
- Kokeilut sahojen **vastaanottomittaus- ja tukkiröntgendatojen** yhdistämisestä leimikko- ja korjuutietoihin – tavoitteena puun laadunhallinnan tehostaminen.
- **Tiestötietojen hallinnan** tavoitetilan määrittely sekä alustavat kokeilut tietojen keruu- ja ylläpitomenetelmistä.
- **FBD Platformin** määrittely ja alustava testaus – tavoitteena tehokas heterogeenisten datojen yhdistäminen ja jakelu.
- **Yritysvetoiset pilottihankkeet** tulosten jalkauttamisen ja tuotteistamisen tueksi.



Vertaisarvioidut julkaisut 1/2

Ahokas, E., Hyypä, J., Yu, X., Liang, X., Matikainen, L., Karila, K., Litkey, P., Kukko, A., Jaakkola, A., Kaartinen, H., Holopainen, M. & Vastaranta, M. 2016. Towards Automatic single-sensor mapping by multispectral airborne laser scanning. ISPRS Congress 2016.

Holopainen, M., Vastaranta, M. & Hyypä, J. 2014. Outlook for the next generation's precision forestry in Finland. *Forests* 2014, 5(7), 1682-1694.

Hou, Z., Xu, Q., Vauhkonen, J., Maltamo, M. & Tokola, T. 2015. Species-specific combination and calibration between area-based and tree-based diameter distributions using airborne laser scanning. *Canadian Journal of Forest Research*.

Hyypä, J., Karjalainen, M., Liang, X., Jaakkola, A., Karila, K., Kaartinen, H., Kukko, A., White, J. C., Wulder, M. A., Vastaranta, M., Holopainen, M., Kankare, V., Hyypä, H., Vaaja, M., Hollaus, M. & Katoh, M. 2015. Remote Sensing of Forests from Lidar and Radar. Invited book chapter in *Remote Sensing Handbook* (Editor P. Thenkabail), Boca Raton: CRC Press, 2015, 397-428.

Hytti, H. & Visala, A. 2015. A DCM Based Attitude Estimation Algorithm for Low-Cost MEMS IMUs. *International Journal of Navigation and Observation*, vol. 2015, Article ID 503814, 18 pages, 2015. doi:10.1155/2015/503814.

Kaartinen, H., Hyypä, J., Vastaranta, M., Kukko, A., Jaakkola, A., Xiaowei, Y., Pyörälä, J., Xinlian, L., Jingbin, L., Yungschen, W., Kaijaluoto, R., Melkas, T., Holopainen, M. & Hyypä, H. 2015. Accuracy of Kinematic Positioning Using Global Satellite Navigation Systems under Forest Canopies. *Forests* 2015, 6, 3218-3236.

Kankare, V., Liang, X., Vastaranta, M., Yu, X., Holopainen, M. & Hyypä, J. 2015. Diameter distribution estimation with laser scanning based multisource single tree inventory. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2015, 108: 161-171.

Kankare, V., Vauhkonen, J., Holopainen, M., Vastaranta, M., Hyypä, J., Hyypä, H. & Alho, P. 2015. Sparse Density, Leaf-off Airborne Laser Scanning Data in Aboveground Biomass Component prediction. *Forests* 2015, 6, 1839-1857.

Kankare, V., Holopainen, M., Vastaranta, M., Liang, X., Yu, X., Kaartinen, H., Kukko, A. & Hyypä, J. 2016. Outlook for the single-tree-level forest inventory in Nordic countries. *Proceedings of GISOV 2016*.

Kankare, V., Joensuu, M., Vauhkonen, J., Holopainen, M., Tanhuanpää, T., Vastaranta, M., Hyypä, J., Hyypä, H., Alho, P., Rikala, J. & Sipilä, M. 2014. Estimation of timber quality of Scots pine with terrestrial laser scanning. *Forests* 2014, 5: 1879-1895.

Kankare, V., Vauhkonen, J., Tanhuanpää, T., Holopainen, M., Vastaranta, M., Joensuu, M., Krooks, A., Hyypä, J., Hyypä, H., Alho, P. & Viitala, R. 2014. Accuracy in estimation of timber assortments and stem distribution – A comparison of airborne and terrestrial laser scanning techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 97:89-97.

Liang, X., Kankare, V., Yu, X., Hyypä, J. & Holopainen, M. 2014. Automatic stem curve measurement using terrestrial laser scanning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (TGRS)*, 52(3):1739-1748.

Liang, X., Kukko, A., Kaartinen, H., Hyypä, J., Yu, W., Jaakkola, A. & Wang, Y. 2014. Possibilities of a Personal Laser Scanning System for Forest Mapping and Ecosystem Services. *Sensors* 2014, 14(1), 1228-1248.

Liang, X., Wang, Y., Jaakkola, A., Kukko, A., Kaartinen, H., Hyypä, J., Honkavaara, E. & Liu, J. 2015. Forest Data Collection Using Terrestrial Image-Based Point Clouds From a Handheld Camera Compared to Terrestrial and Personal Laser Scanning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 53 (9): 5117-5132.

Vertaisarvioidut julkaisut 2/2

Liang, X., Kankare, V., Hyypä, J., Wang, Y., Kukko, A., Haggrén, H., Yu, X., Kaartinen, H., Jaakkola, A., Guan, F., Holopainen, M. & Vastaranta, M. 2016. Terrestrial laser scanning in forest inventories. Review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 2016, 115, 63-77.

Pyörälä, J., Kankare, V., Vastaranta, M., Holopainen, M., Rikala, J., Sipi, M. & Hyypä, J. 2016. Pinus sylvestris L. branch detection and branch diameter measurements and estimation of wood quality of standing trees in Terrestrial Laser Scanning point clouds. Submitted manuscript: Journal: Forestry. 2016.

Räty, J., Vauhkonen, J., Maltamo, M. & Tokola, T. 2015. On the potential to predetermine dominant tree species based on airborne laser scanning data for improving subsequent predictions of species-specific timber volumes. Forest Ecosystems.

Saarinen, V. Kankare, M. Vastaranta, V. Luoma, J. Pyörälä, T. Tanhuanpää, X. Liang, H. Kaartinen, A. Kukko, A. Jaakkola, X. Yu, M. Holopainen & J. Hyypä (2016). Feasibility of terrestrial laser scanning for collecting stem volume information from single trees. Manuscript, will be submitted to ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016.

Siipilehto, J., Lindeman, H., Vastaranta, M., Yu, X., Uusitalo, J. 2016. Reliability of the predicted stand structure for clear-cut stands using optional methods: airborne laser scanning-based methods, smartphone-based forest inventory application Trestima and pre-harvest measurement tool EMO. Silva Fennica 50(3) 24 p. article id 1568.

Tang, J., Chen, Y., Hyypä, J., Jaakkola, A., Kaartinen, H., Kukko, A., Khoramshahi, E., Hakala, T. & Holopainen, M. 2015. SLAM aided Stem Mapping for Forest Inventory with Small-footprint LiDAR. Forests 2015, 6(12), 4588-4606.

Vastaranta, M., Latorre, E. G., Luoma, V., Saarinen, N., Holopainen, M. & Hyypä, J. 2015. Evaluation of a Smartphone App for Forest Sample Plot Measurements. Forests. 2015; 6(4):1179-1194.

Vastaranta, M., Saarinen, N., Kankare, V., Holopainen, M., Kaartinen, H., Hyypä, J. & Hyypä, H. 2014. Multisource single-tree inventory in the prediction of tree quality variables and logging recoveries. Remote Sensing, 2014, 6, 3475-3491.

White, J.C., Coops, N.C., Wulder, M.A., Vastaranta, M., Hilker, T. & Tompalski, P. 2016. Remote sensing for enhancing forest inventories: A review. Canadian Journal of Remote Sensing, in press. (February 29, 2016; Manuscript ID: CJRS-15-0146.R2; Accepted March 8, 2016).

Yu, X., Litkey, P., Hyypä, J., Holopainen, M. & Vastaranta, M. 2014. Assessment of Low Density Full-Waveform Airborne Laser Scanning for Individual Tree Detection and Tree Species Classification. Forests 5(5), 1011-1031.

Yu, X., Hyypä, J., Karjalainen, M., Nurminen, K., Karila, K., Vastaranta, M., Kankare, V., Kaartinen, H., Holopainen, M., Honkavaara, E., Kukko, A., Jaakkola, A., Liang, X., Wang, Y., Hyypä, H. & Kato, M. 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 Sens. 2015, 7, 15933-15954.

Muut julkaisut

Holopainen, M., Vastaranta, M. & Hyypä, J. 2014. Outlook for the next generation's precision forestry in Finland. *Forests* 2014, 5(7), 1682-1694.

Holopainen, M., Vastaranta, M. & Hyypä, J. 2014. Yksityiskohtaisen metsävaratiedon tuottaminen – kohti täsmämetsätaloutta? *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2014.

Hyyti, H. & Visala, A. 2015. Low-cost 3D LIDAR for an Autonomous Forest Machine. SHERPA Summer School 2015 Workshop 1.-5.6.2015, University of Oulu.

Hämäläinen, J., Holopainen, M., Hynynen, J., Jyrkilä, J., Rajala, P.T., Ritala, R., Räsänen, T. & Visala, A. 2014. Perusteita seuraavan sukupolven metsävarajärjestelmälle – "Forest Big Data" -hanke. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2014.

Kauppinen, J., Väättä, K., Tauriainen, S., Einola, K., Malinen, J. & Sirén, M. 2016. Monilähdetietoa hyödyntävien karttaopasteiden tarve puunkorjuussa: Haastattelututkimus hakkuukoneenkuljettajille. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 15/2016.

Melkas, T., Salmi, M. & Hämäläinen, J. 2014. Satelliittipaikannuksen tarkkuus hakkuukoneessa (Abstract in English). *Metsätehon raportti* 231.

Melkas, T. & Hämäläinen, J. 2015. Hakkuukoneella kerätyn puustotiedon hyödyntäminen. Menetelmäkuvaus referenssitiedon keräämiseksi kaukokartoitukseen ja metsävaratietojen päivitykseen. Abstract in English. *Metsätehon raportti* 237.

Melkas, T., Peuhkurinen, J., Santaranta, S., Sirro, L., Poikela, A., Sorsa, J.-A. & Hämäläinen, J. 2016. Hakkuukoneella kerätyn mittaustiedon soveltuvuus referenssiaineistoksi ja metsävaratietojen päivitykseen. *Metsätehon raportti xxx* (Käsikirjoitus).

Räsänen, T., Usenius, A., Heikkilä, A., Holmila, P. & Usenius, T. 2016. Tukkiröntgendata sahapuun ohjauksessa. *Metsätehon raportti xxx* (Käsikirjoitus).

Räsänen, T., Hämäläinen, J., Ritala, R. & Rajala, M. 2016. Metsävaratiedon hyödyntäminen puuhuollossa. *Metsätehon raportti xxx* (Käsikirjoitus).

Siipilehto, J. & Kangas, A. 2015. Näslundin pituuskäyrä ja siihen perustuvia malleja läpimitan ja pituuden välisestä riippuvuudesta suomalaisissa talousmetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2015: 215-236.

Venäläinen, P., Räsänen, T. & Hämäläinen, J. 2015. Potential Business Models for Forest Big Data. *Metsäteho's Report* 235.

Venäläinen, P., Räsänen, T. & Hämäläinen, J. 2016. Tiestö- ja kuljetusdatan nykytila, visio ja toimenpideohjelma. *Metsätehon raportti xxx* (Käsikirjoitus).

Muu tulospaineisto

- [Forest Big Data -tulosseminaari 8.3.2016, Heureka](#)
- [Data to Intelligence -ohjelma](#)

