NLS
FINNISH GEOSPATIAL
RESEARCH INSTITUTE
FGI

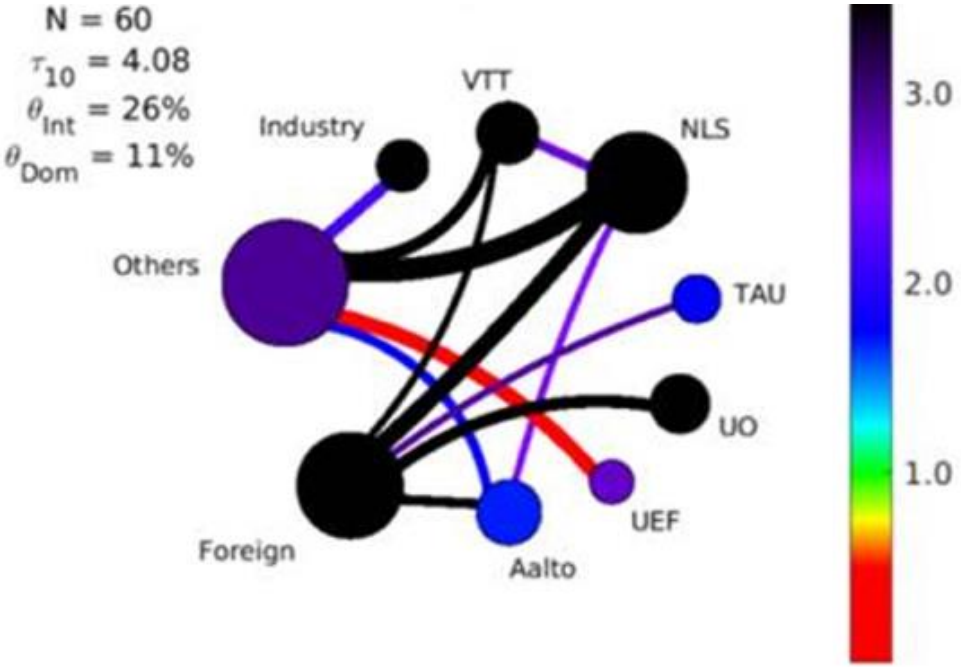
Yksittäisen puun tietoihin pohjautuva tulevaisuuden metsätietojärjestelmä

Sisältö

1. Pari referenssiä
2. Metsakanta.com
3. Yksinpuin virtuaalimetsä
4. Metsakanta.com referenssiaineistot

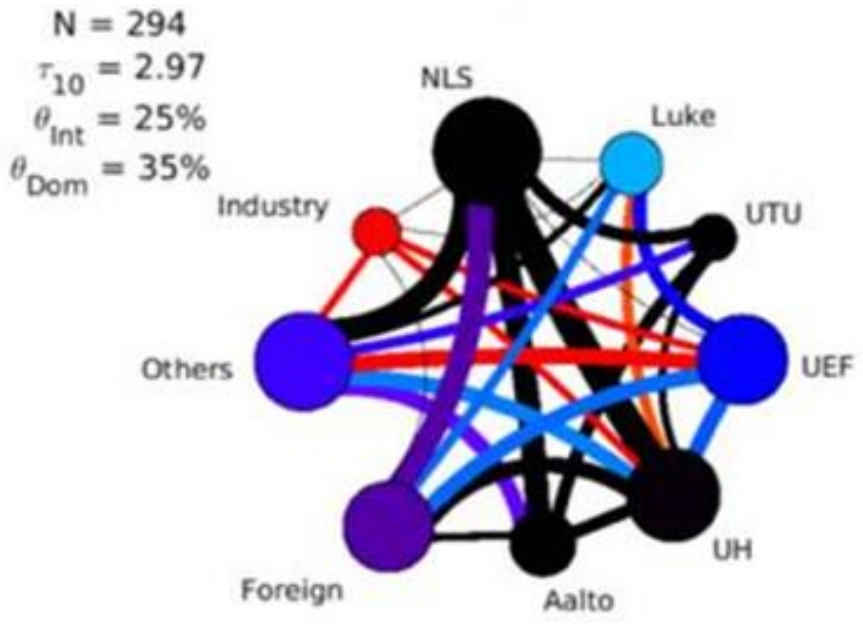
Referenssit

4th impactfull research cluster



Drone remote sensing

22th impactfull research cluster



Laser scanning

NLS FINNISH GEOSPATIAL RESEARCH INSTITUTE FGI

UNITE FOREST-HUMAN-MACHINE INTERPLAY

Advancement of single tree database – metsakanta.com

https://uniteflagship.fi/fi/2022/04/20/uniten-vuosiseminaarissa-palkittiin-tieteen-ja-vaikuttavuuden-onnistujia/

Matti Hyyppä
matti.hyyppa@nls.fi

Juho-Pekka Virtanen
juho.virtanen@nls.fi

Juha Hyyppä
juha.hyyppa@nls.fi

Heikki Hyyti
heikki.hyyti@nls.fi

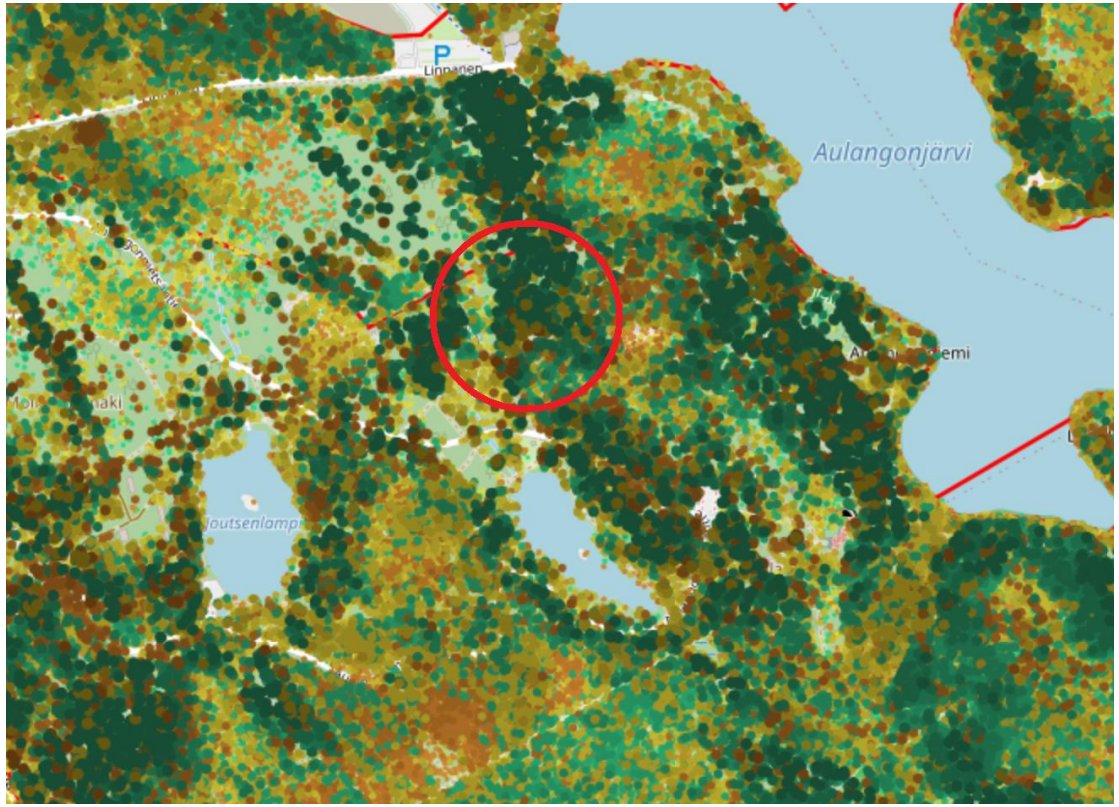
Xiaowei Yu
yu.xiaowei@nls.fi

Hannu Handolin
hannu.handolin@aalto.fi

Tuomas Turppa
tuomas.turppa@nls.fi

Metsakanta.com

- 101 052 210 trees extracted from the national 5 pt / m^2 ALS data
- Test site area: 3 800 km^2 → 1.1 % of the area of Finland
- ~ 14 000 trees or ~ 0.5 km^2 can be processed per minute
  (16 CPU desktop computer)
- The tree with the largest diameter (62 cm) is located in Aulanko conservation area, Hämeenlinna



Suorituskyky

- Puiden löytymisalgoritmin perusta (Yu et al. 2010), https://www.mdpi.com/2072-4292/2/6/1481
- Laatutunnukset Random Forest regressiolla (Yu et al. 2011), https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271610000651
- Vertailu muihin algoritmeihin (Kaartinen et al. 2012) https://www.mdpi.com/2072-4292/4/4/950
- Löydämme nykyversiolla 88% yli 20 cm läpimittaisista puista. Puiden sijainti määräytyy latvan korkeimman kohdan mukaan
- Tunnusten tarkkuus: 3.5% pituudelle, 14% läpimitalle, 26-29% tilavuudelle, 25% biomassalle, 80% puulajille (pistepilvestä)

Pelimoottori - metsäkanta - integraatio

Maastotiedot
Esikäsitelty tiedostomuotoisina

Rajapinta
(JSON REST)
Puutiedon haku sovelluksiin

JSON Rest API

PostgreSQL

Puutietokanta
(PostGreSQL)
Tiedon säilytys & maantieteelliset haut (PostGIS -laajennus käytössä)

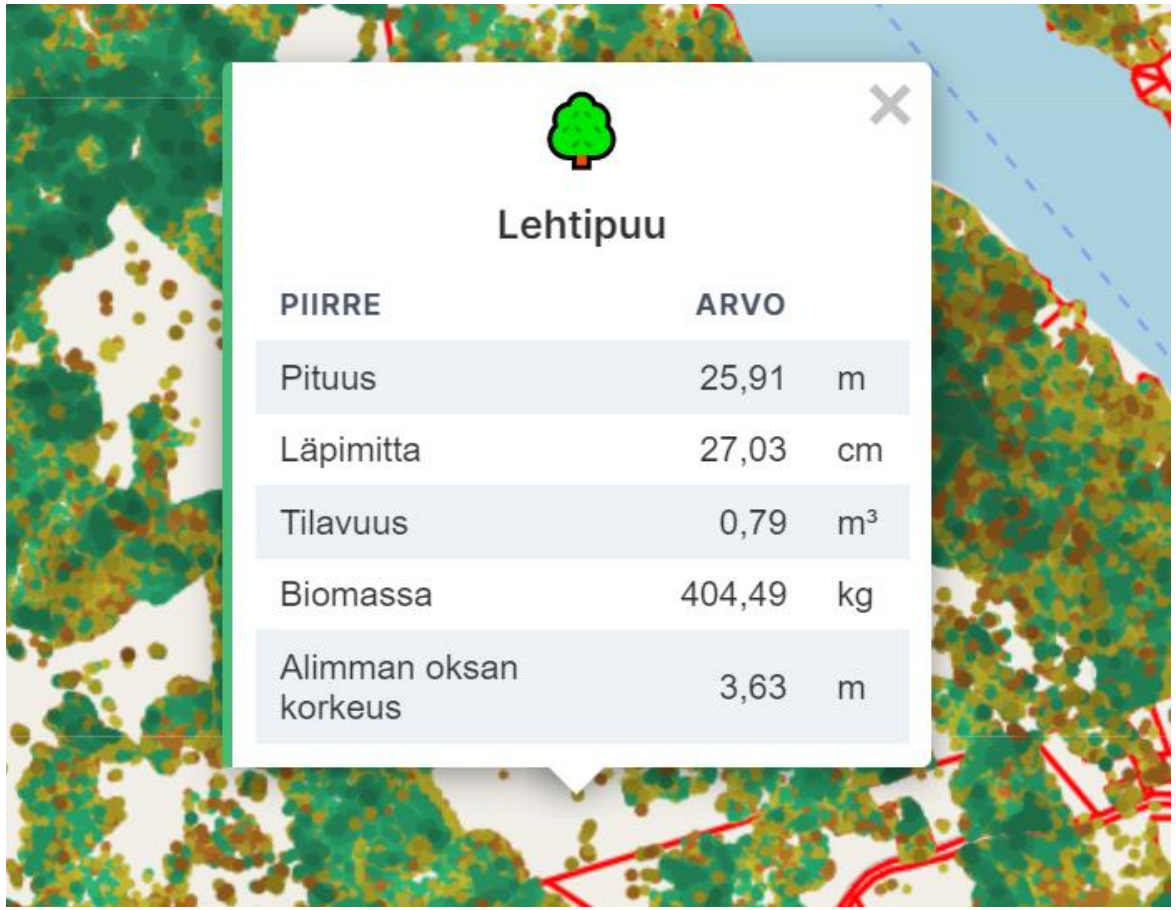
Palvelinsovellus
(Django)
Metsäkanta.com demosovellus

Selainsovellus
Puutiedon katselu verkossa

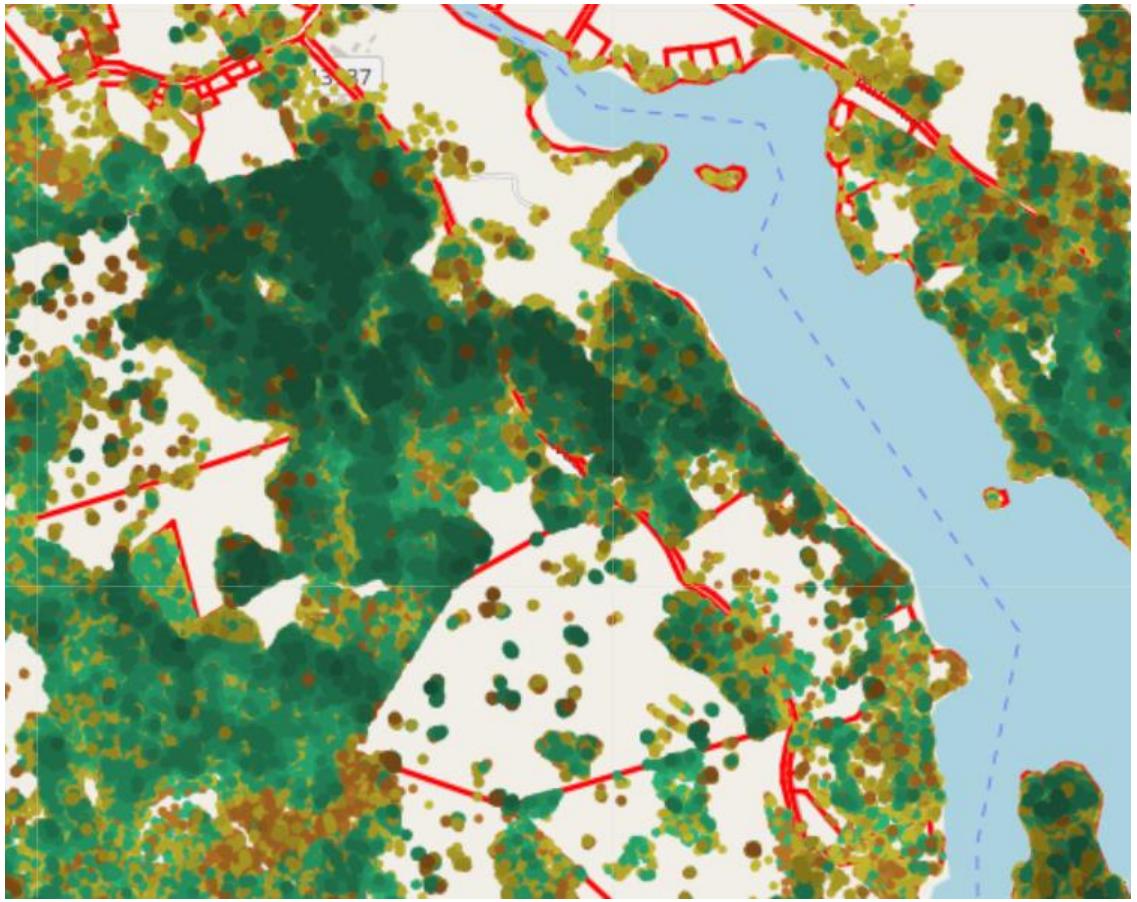
Virtuaalimetsä
(Pelimoottori)
Immersiivinen tiedon visualisointi

NLS FINNISH GEOSPATIAL RESEARCH INSTITUTE FGI

Yksittäisen puun tiedot (2021->2022)



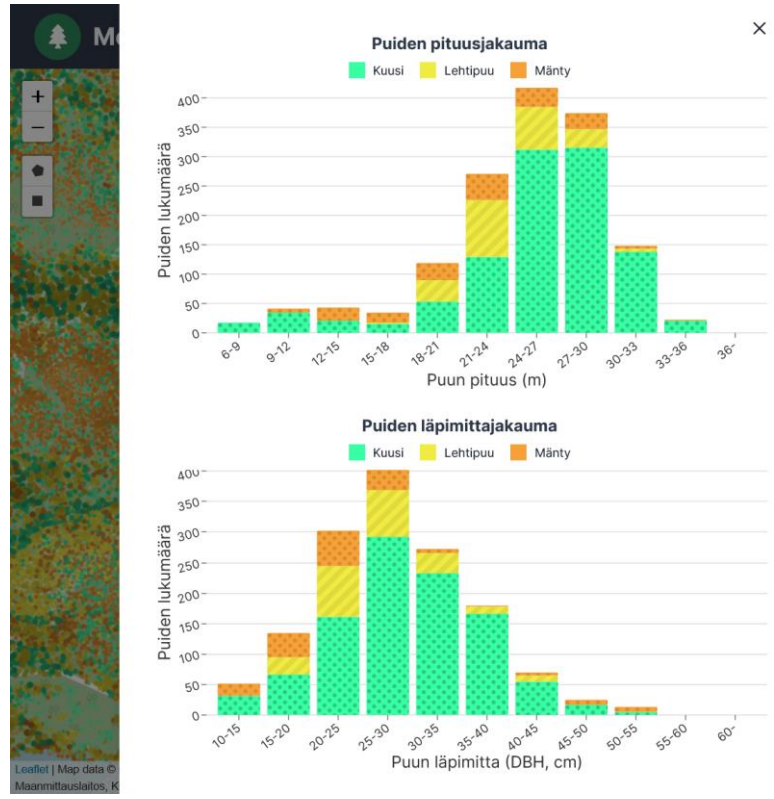
2021 -> 2022



Laatutietojen esittäminen

TUNNUSLUKU	YHTEENSÄ	MÄNTY	KUUSI	LEHTIPUU
Maksimipituus (m)	35,41	33,87	35,41	31,57
Keskipituus (m)	24,64	21,59	25,34	23,93
Maksimiläpimitta (cm)	53,46	53,46	53,44	44,61
Keskiläpimitta (cm)	27,89	24,67	28,78	26,47
Tilavuus (m³)	1 251,84	121,82	965,6	164,41
Biomassa (t)	597,39	55,07	458,19	84,13
Pohjapinta-ala (m²)	99,86	10,55	75,18	14,13
Runkoluku (kpl)	1 498	188	1 066	244

TUNNUSLUKU	YHTEENSÄ	MÄNTY	KUUSI	LEHTIPUU
Runkoluku (kpl/ha)	344,67	43,26	245,27	56,14
Tilavuus (m³/ha)	288,03	28,03	222,17	37,83
Biomassa (t/ha)	137,45	12,67	105,42	19,36
Pohjapinta-ala (m²/ha)	22,98	2,43	17,3	3,25



Currently under progress:
Organizations involved in testing metsakanta.com

METSÄHALLITUS

Metsäkeskus

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Ålands landskapsregering

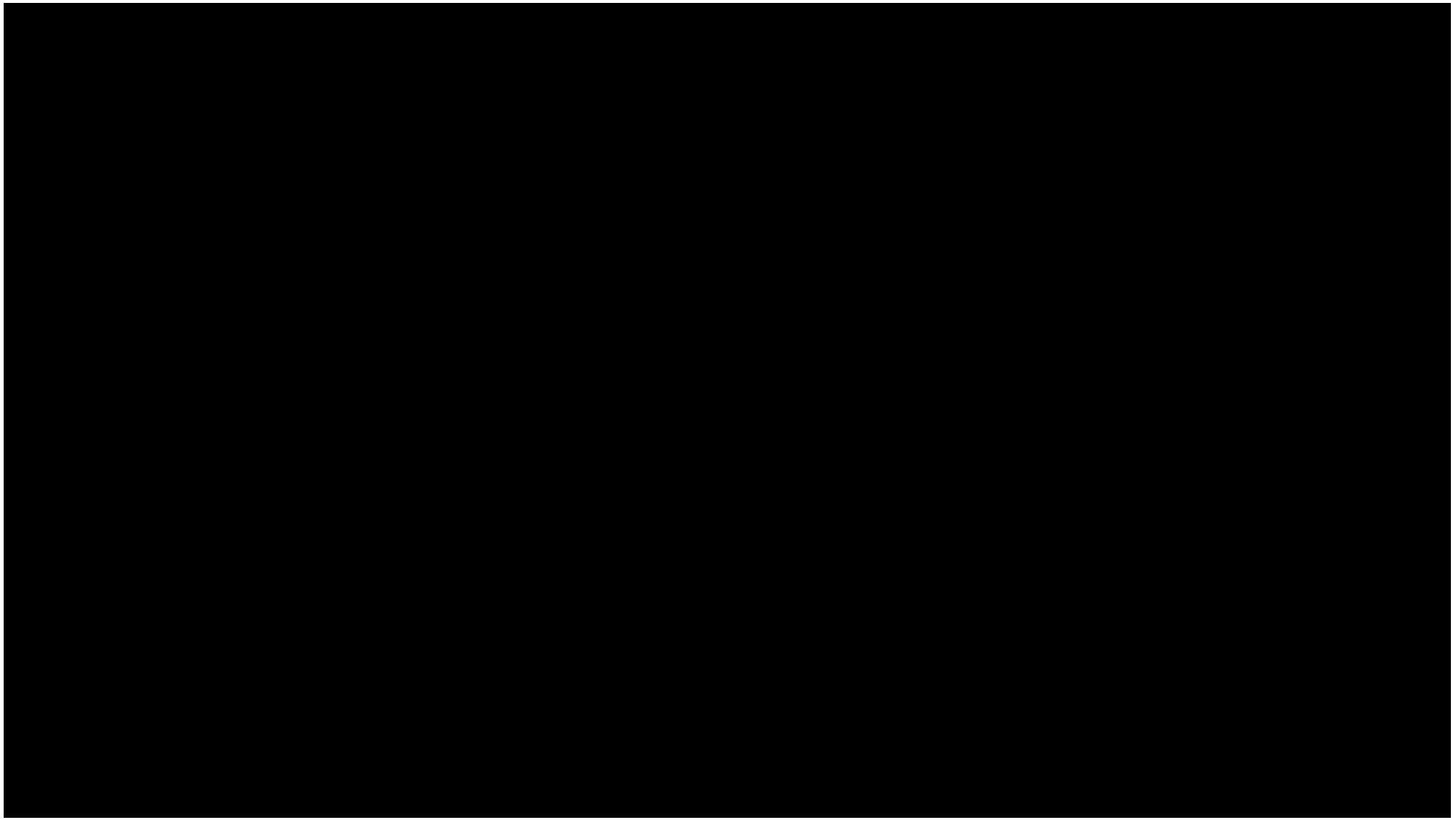
Helsinki

Virtual Forest

Virtual forest screenshot
© Tuomas Turppa

Georeferenced panoramic image from terrestrial laser scanning
© H. Hyyti

Automaatti metsien virtuaalimalli



Virtuaalimetsän ja todellisen maaston vertailu

Aineiston hankinta

- Koealojen valinta
- Mittaus koealalla
  - Panoramakuva
  - 3D pistepilvi
- Paikan mittaus
  - Satelliittipaikannuksella
- Mittalaitteen asennon määritys
  - Vertaamalla kerättyä pistepilveä kansalliseen laserkeilausaineistoon


1


1


2


3


3

Maastovertailun yhteenveto

Alustavan vertailun perusteella havaittua:

+ Suurimmat puut ovat melko hyvin oikeassa paikassa
+ Aukeat kohdat ovat oikeasti tyhjiä myös virtuaalimetsässä
+ Tiet ja isot maastonmuodot ovat oikeissa paikoissa

- Pienet puut puuttuvat
- Puulajien määritys on jossakin tapauksissa puutteellista
  - Männyt ja koivut menevät joskus sekaisin
  - Muut lehtipuut näkyvät koivuina tai satunnaisina muina puina
- Kivet ja aluskasvillisuus selkeästi puutteellisia

Tulevat kehityskohteet:

- Yksinpuiden tunnistuksen ja puulajitunnistuksen kehitys
- Tarkemman maastomallin käyttöönotto (5p / m^2 laserkeilaus)
- Muiden tarkempien lähtöaineistomahdollisuuksien selvitys (aluskasvillisuus, kivet, jne.)

NLS FINNISH GEOSPATIAL RESEARCH INSTITUTE FGI

NLS
FINNISH GEOSPATIAL
RESEARCH INSTITUTE
FGI

UNITE
FOREST-HUMAN-MACHINE INTERPLAY

Referenssimittausten automatisointi

Motivation for getting field reference

Small comparison of various technologies, when **location**, height, dbh/stem, species are needed. Key factors are accuracy, speed, and low-costs

- Manual measurements: 2 persons, 100 trees (2-3 plots) accurately per day, errors in documentation/reporting
- Terrestrial Laser Scanning: 2 persons, few plots per day, 5 scans per plots
- Various MLS techniques: a) Under-canopy UAV laser scanning data (forward looking when height is obtained from ALS), b) Under-canopy UAV rotating laser scanning data (which provides tree height), c) Backpack laser scanning, d) Hand-held laser scanning, 20-50 plots per day
- Harvester with accurate positioning, no extra effors, thousands of trees per day
- Conventional ITD provides many trees, but individual t volume estimation accuracy is 30-35%
- Airborne UAV data with Direct Stem Measurement: trees in a minute, 50000 trees in a day

See these through: published technologies and solutions in the topic area

Hyyppä, E., Hyyppä, J., Hakala, T., Kukko, A., Wulder, M.A., White, J.C., Pyörälä, J., Yu, X., Wang, Y., Virtanen, J.P. and Pohjavirta, O., 2020. **Under-canopy UAV laser scanning** for accurate forest field measurements. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 164, pp.41-60.

Hyyppä, E., Kukko, A., Kaijaluoto, R., White, J.C., Wulder, M.A., Pyörälä, J., Liang, X., Yu, X., Wang, Y., Kaartinen, H. and Virtanen, J.P., 2020. Accurate derivation of **stem curve and volume using backpack mobile laser scanning**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *161*, pp.246-262.

Hyyppä, E., Yu, X., Kaartinen, H., Hakala, T., Kukko, A., Vastaranta, M. and Hyyppä, J., 2020. Comparison of **backpack, handheld, under-canopy UAV, and above-canopy UAV** laser scanning for field reference data collection in boreal forests. *Remote Sensing*, *12*(20), p.3327.

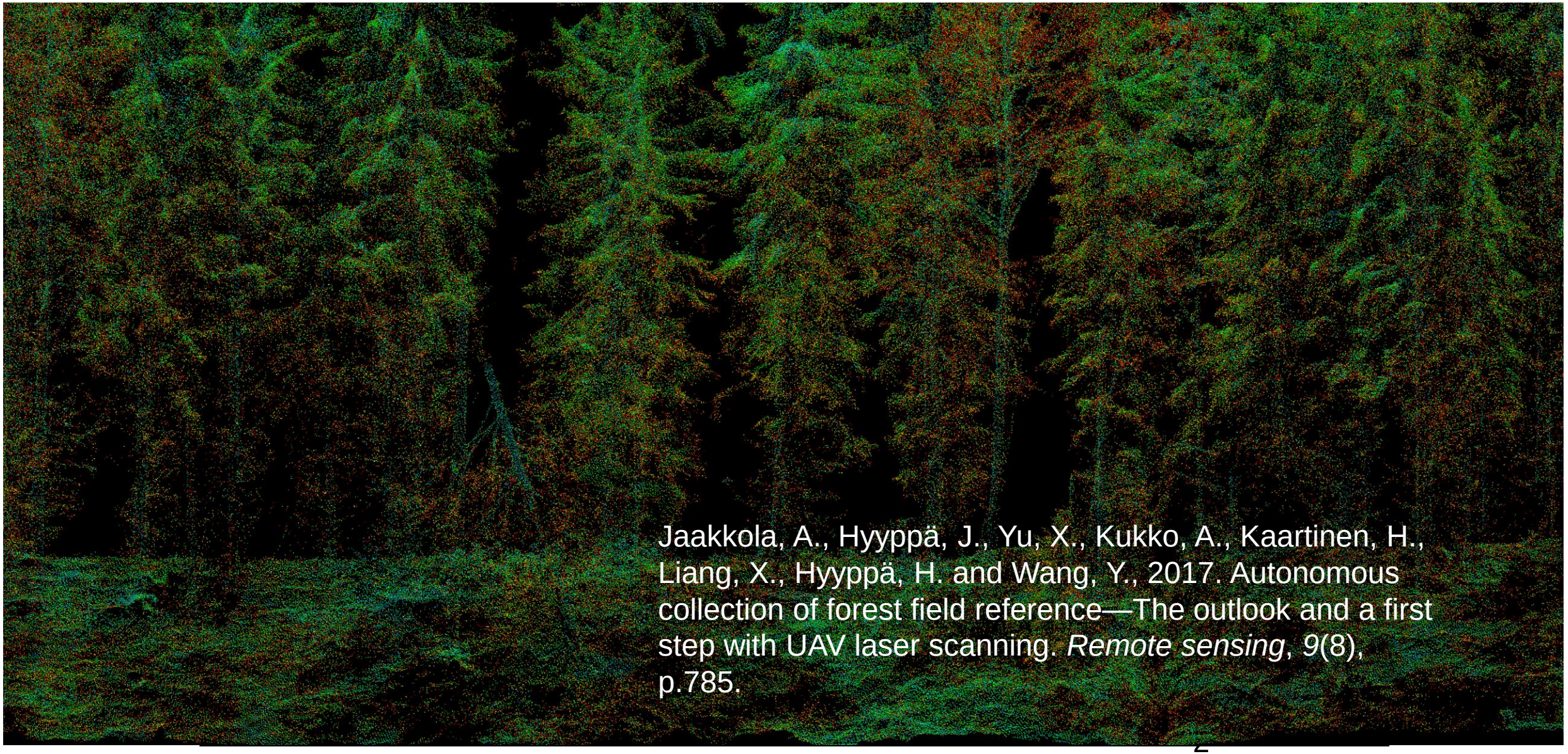
Hyyppä J, Yu X, Hakala T, Kaartinen H, Kukko A, Hyyti H, Muhojoki J, Hyyppä E. **Under-Canopy UAV Laser** Scanning Providing Canopy Height and Stem Volume Accurately. Forests. 2021; 12(7):856.

Hyyppä, E., Kukko, A., Kaartinen, H., Yu, X., Muhojoki, J., Hakala, T. and Hyyppä, J., 2022. Direct and automatic measurements of stem curve and volume using a high-resolution airborne laser scanning system. Science of Remote Sensing, 5, p.100050.

Under-canopy UAV with a rotating LS

Hyyppä, J., Yu, X., Hakala, T., Kaartinen, H., Kukko, A., Hyyti, H., Muhojoki, J. and Hyyppä, E., 2021. Under-Canopy UAV Laser Scanning Providing Canopy Height and Stem Volume Accurately. Forests 2021; 12(7):856.

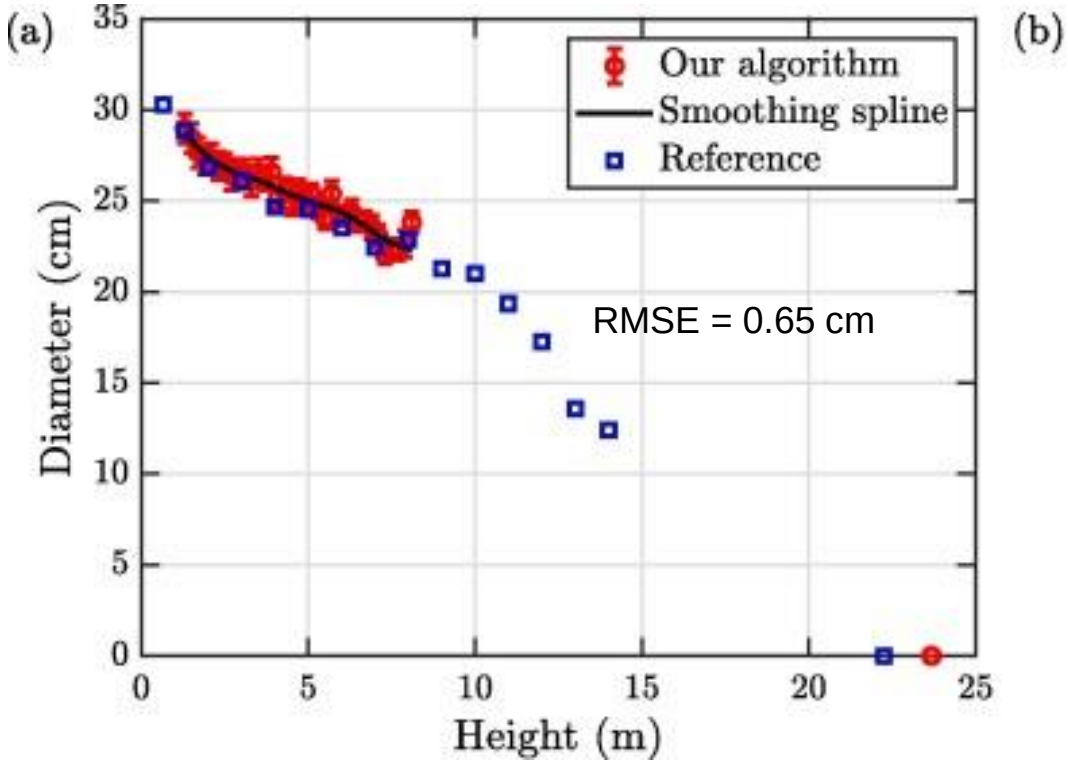
Direct Measurements from ALS



Jaakkola, A., Hyyppä, J., Yu, X., Kukko, A., Kaartinen, H., Liang, X., Hyyppä, H. and Wang, Y., 2017. Autonomous collection of forest field reference—The outlook and a first step with UAV laser scanning. *Remote sensing*, *9*(8), p.785.

Harvesterikeilain

Stem Curve example 1



(b)

Accuracy of stem curve for high-quality trees

Table 4: Bias and RMSE of DBH and stem curve estimates on the three test sites for the scenario *high-quality trees*. In addition to the overall bias and RMSE, we also report the bias and RMSE for each of the four DBH categories.

	DBH				**Stem curve**			
	bias	rbias	RMSE	rRMSE	bias	rbias	RMSE	rRMSE
Test site 1								
Overall	0.3 cm	1.2%	2.2 cm	8.1%	-0.1 cm	-0.4%	1.7 cm	6.4%
DBH $\in [0, 20)$ cm	0.8 cm	4.8%	1.6 cm	9.2%	0.4 cm	2.5%	1.6 cm	9.5%
DBH $\in [20, 30)$ cm	0.6 cm	2.4%	1.9 cm	7.8%	-0.0 cm	-0.1%	1.5 cm	6.3%
DBH $\in [30, 40)$ cm	-0.2 cm	-0.7%	2.4 cm	7.1%	-0.4 cm	-1.4%	1.8 cm	5.7%
DBH $\in [40, \infty)$ cm	-1.8 cm	-4.3%	4.9 cm	11.4%	-0.2 cm	-0.7%	1.4 cm	7.3%
Test site 2								
Overall	-0.2 cm	-0.7%	2.9 cm	9.8%	-1.2 cm	-4.2%	2.6 cm	9.3%
DBH $\in [0, 20)$ cm	2.2 cm	11.4%	2.9 cm	15.3%	-0.7 cm	-3.2%	2.6 cm	12.6%
DBH $\in [20, 30)$ cm	0.3 cm	1.0%	2.2 cm	8.4%	-1.1 cm	-4.3%	2.4 cm	9.5%
DBH $\in [30, 40)$ cm	-0.7 cm	-2.1%	3.4 cm	10.1%	-1.3 cm	-4.0%	2.8 cm	8.9%
DBH $\in [40, \infty)$ cm	-3.4 cm	-8.2%	2.6 cm	12.2%	-2.3 cm	-5.9%	3.5 cm	9.1%
Test site 3								
Overall	0.3 cm	1.4%	2.3 cm	9.6%	0.1 cm	0.6%	1.9 cm	8.2%
DBH $\in [0, 20)$ cm	1.2 cm	6.6%	2.2 cm	12.2%	0.6 cm	3.4%	1.8 cm	10.3%
DBH $\in [20, 30)$ cm	0.1 cm	0.6%	2.3 cm	9.2%	0.0 cm	0.1%	1.9 cm	7.9%
DBH $\in [30, 40)$ cm	0.2 cm	0.6%	3.0 cm	9.4%	0.3 cm	0.9%	2.3 cm	7.7%
DBH $\in [40, \infty)$ cm	-1.6 cm	-3.8%	2.2 cm	5.3%	-1.3 cm	-3.4%	1.4 cm	3.7%

Accuracy of stem volume for high-quality trees

Table 5: Bias and RMSE of stem volume estimates on the three test sites for the scenario *high-quality trees*. In addition to the overall bias and RMSE, we also report the bias and RMSE for each of the four DBH categories.

	Stem volume			
	bias	rbias	RMSE	rRMSE
Test site 1				
Overall	17 dm^3	2.2%	96 dm^3	12.7%
DBH $\in [0, 20)$ cm	44 dm^3	16.0%	86 dm^3	31.1%
DBH $\in [20, 30)$ cm	13 dm^3	2.2%	82 dm^3	13.3%
DBH $\in [30, 40)$ cm	5 dm^3	0.5%	117 dm^3	10.4%
DBH $\in [40, \infty)$ cm	101 dm^3	6.1%	149 dm^3	9.0%
Test site 2				
Overall	-88 dm^3	-9.3%	146 dm^3	15.4%
DBH $\in [0, 20)$ cm	-82 dm^3	-17.3%	134 dm^3	28.2%
DBH $\in [20, 30)$ cm	-78 dm^3	-10.2%	126 dm^3	16.4%
DBH $\in [30, 40)$ cm	-95 dm^3	-8.2%	160 dm^3	13.9%
DBH $\in [40, \infty)$ cm	-164 dm^3	-9.0%	247 dm^3	13.5%
Test site 3				
Overall	31 dm^3	5.8%	116 dm^3	21.3%
DBH $\in [0, 20)$ cm	48 dm^3	18.6%	162 dm^3	62.4%
DBH $\in [20, 30)$ cm	19 dm^3	3.5%	93 dm^3	16.9%
DBH $\in [30, 40)$ cm	78 dm^3	8.6%	150 dm^3	16.5%
DBH $\in [40, \infty)$ cm	43 dm^3	2.4%	73 dm^3	4.1%

Comparison with previous papers

Table 6: Comparison of our results to previous studies that have used high-density ALS or UAVLS data to conduct direct measurements of DBH and other stem attributes of individual trees. For each study, we report the laser scanning system, flight altitude above the ground level, point density of the resulting point cloud(s), completeness of tree detection, and RMSE for DBH, stem curve and stem volume estimates. Importantly, the completeness rates are not fully comparable between the different studies since manual selection of trunk points was used in Brede et al. [30] and Wieser et al. [32], and thus, the completeness rates refer to the success rate of circle/cylinder fitting for these two studies.

Study	System	Altitude (m)	Density (pts/m^2)	Completeness (%)	RMSE (absolute or relative)		
					DBH	Stem curve	Stem volume
Wieser et al. [32]	RiCOPTER	50	1500	81	7.5 cm	-	-
Brede et al. [30]	RiCOPTER	90	3000-5300	67	4.2 cm	-	-
Liang et al. [24]	RiCOPTER	50	4000-18000	20-60	20-50%	30-55%	60-225%
Kuzelka et al. [31]	RiCOPTER	100	2000	98-99	6.0 cm	-	-
Vandendaele et al. [33]	Velodyne HDL-32E on a UAV	40	1585	71	7.4 cm	-	-
Ours (*high-quality trees*)	RieglVUX-1HA on a helicopter	80	2200-3800	42-71	2.2-2.9 cm 8.1-9.8%	1.7-2.6 cm 6.4-9.3%	96-146 dm^3 12.7-21.3%
Ours (*as many trees as possible*)	RieglVUX-1HA on a helicopter	80	2200-3800	72-90	2.6-3.5 cm 10.1-14.6%	2.2-2.8 cm 9.0-12.4%	122-180 dm^3 17.7-29.3%

Multispektri MLS

Yhteenveto

- 88% yli 20 cm DBH puista löydetään metsakanta.com ratkaisussa
- Noin 30% virhe tilavuudelle, 80% puulajeista oikein (3 lajia)
- Kehitämme automaattista virtuaalimetsää, joka soveltuisi mm. sähköiseen puukauppaan
- Kehitämme automaattisia menetelmiä referenssipuiden mittaamiseksi nopeasti (MLS ratkaisuilla), jopa 1/4M referenssipuuta voisi mitata viikossa