



Yksittäisten puiden inventointi (YPI) laser- ja ilmakuva-aineistosta

Ilkka Korpela, HY/JoY

**ilkka.korpela@helsinki.fi
www.helsinki.fi/~korpela**

YPI ~ STRS ~ Single-Tree Remote Sensing

Tavoite?

Korvata (täydentää) puuston määrää ja laatua koskevat maastomittaukset puumittaukset (ainakin osin) - Metsätalous

Puiden mittaus ja kuvaus 3D-ympäristömallinnusta varten



Video Clip



YPI ~ STRS ~ Tavoite?

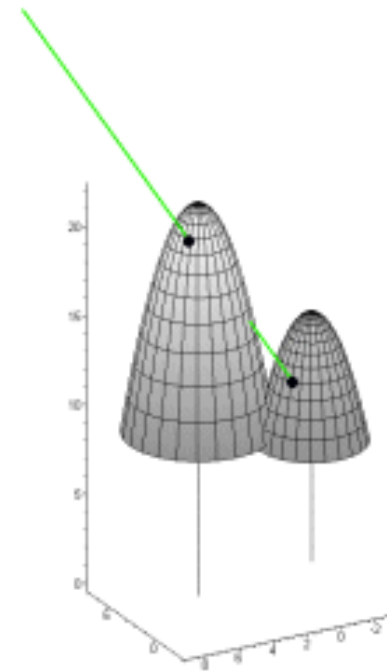
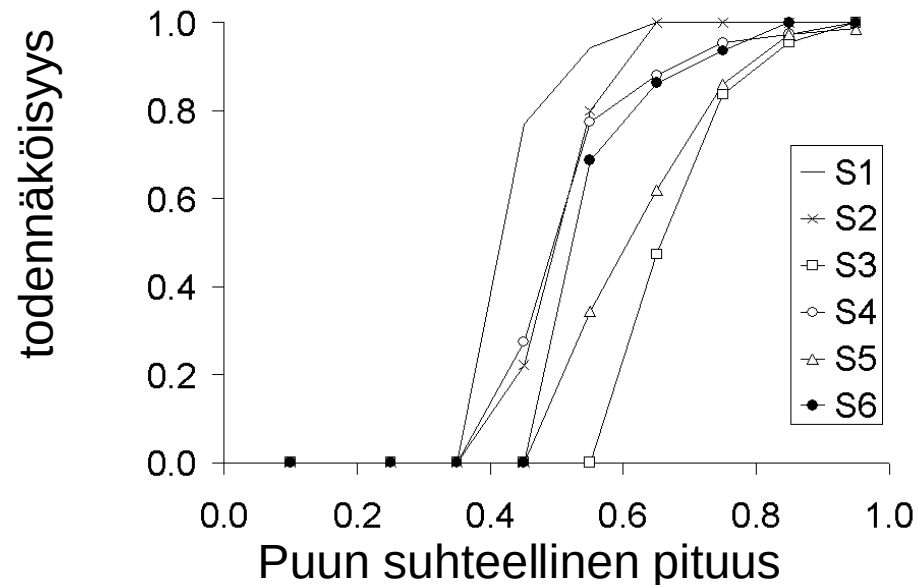
YPI voi olla osa monimutkaisempaa inventointisysteemiä

- 1) otantapohjainen kaukokartoitus matalalta ⇒
koealamittaukset YPI-menetelmin korkearesoluutioisella aineistolla ⇒
yleistys aluepohjaisilla menetelmillä.
- 2) Arvokkaiden kohteiden YPI-tulkinta, puoliautomaattisestikin. Muut kohteet aluepohjaisilla menetelmillä.
- 3) Yleinen tutkimuksellinen tavoite: puutason, ehkä ”liiankin tarkat ja kalliit” menetelmät kertovat yleisestä saavutettavan tarkkuuden rajasta.

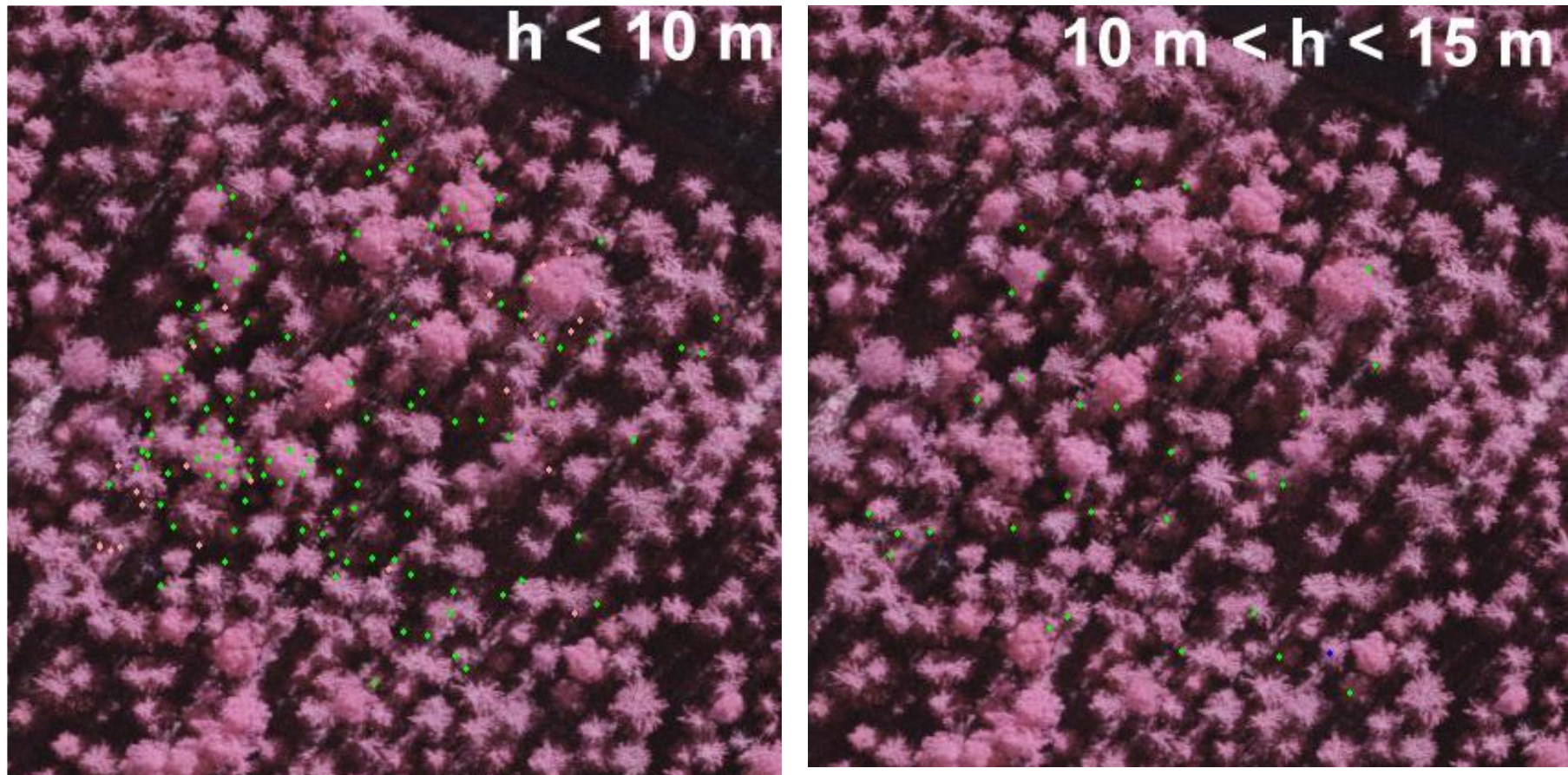
YPI ~ Teoreettista tarkastelua

- Runkoa koskevia (h_x , d_x)-havaintoja ei saada ylhäältä (zeniittikulmat $0^\circ, \dots, 15^\circ, \dots, 45^\circ$) (vrt. maalaser, moto) $\Rightarrow$ rungon (h_x , d_x) EPÄSUORA, ALLOMETRINEN estimointi(ketju).

- Puuston kokovaihtelu ja havaintolaitteiden geometria $\Rightarrow$ keskinäinen varjostus ja peitto $\Rightarrow$ alempien latvuserosten huono mitattavuus.

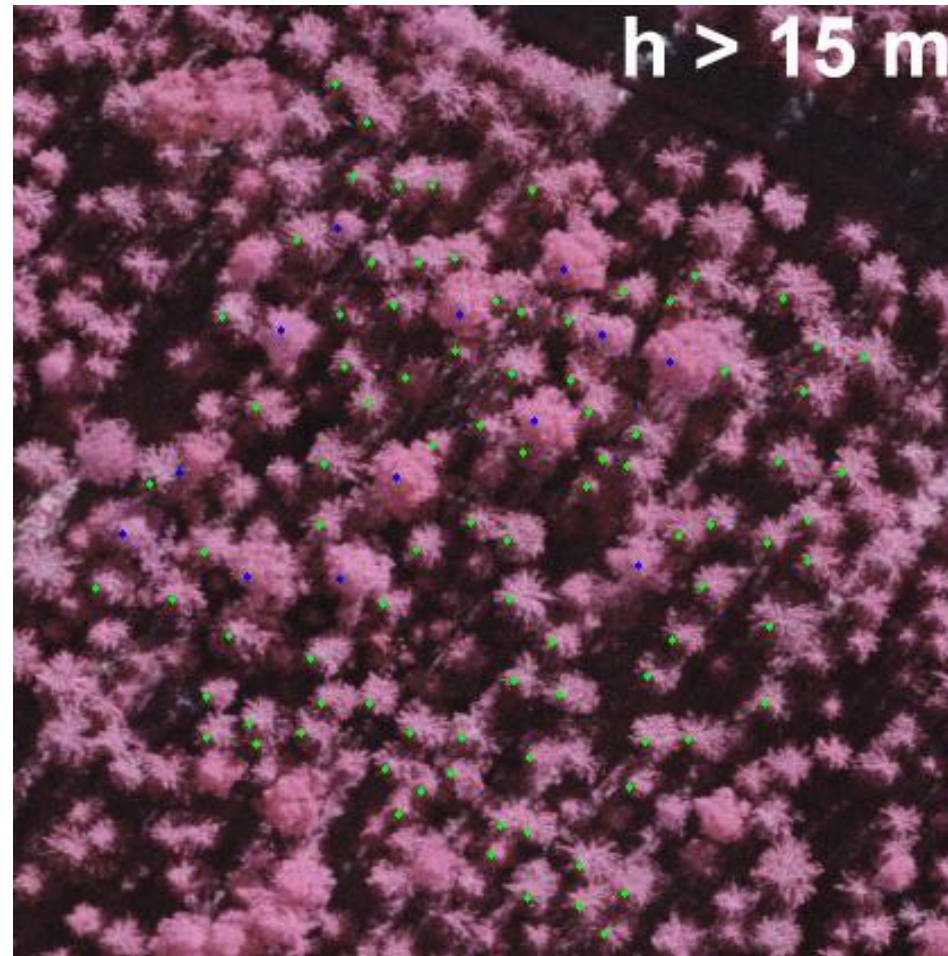


Mitattavuus – esimerkki – 60-vuotias MTs-kuusikko (+Ko)



Nadirikuvalla varjostus on ongelma, Laserkeilauksessa "ei".

Mitattavuus – esimerkki – 60-vuotias MTs-kuusikko (+Ko)



Pää- ja lisävaltapuut valossa ~> 0.9 tod.näk.

YPI ~ Teoreettista tarkastelua - MITTAKAAVA

Näytteenottotiheys

Optinen aineisto: kuvaelementin koko, optiikan vaikutukset (MTF), lentokorkeus, lentonopeus ja liikkeenkompensointi $\Rightarrow$ vaikutukset sekä radiometriaan (sävyihin) että geometriaan (tekstuuriin).

$\Rightarrow$ Pikselikoko ei kerro edes puolitotuutta

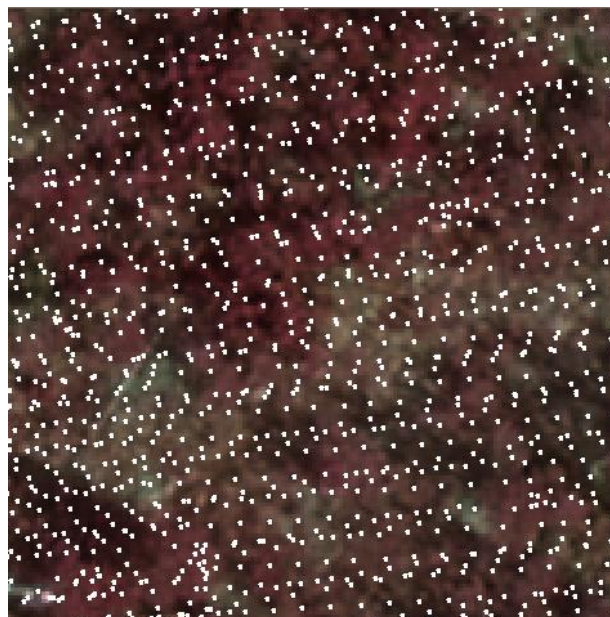
Latvuksen läpimitta 0–10+ m eli 0–100 m². Tarvitaan riittävästi pikseleitä per tunnistettava/luokitettava olio. Jos halutaan käyttää tekstuuripiirteitä tarvitaan 10-20 cm resoluutio.

LiDAR / Laser

Pulssitiheys

- tehollinen
- nimellinen

Paluukaikujen
lukumäärä,
minimiväli.



YPI ~ Teoreettista tarkastelua - MITTAKAAVA

MITTAKAAVA ja LENTÄMINEN

Paineistettu kone, jossa aukko ja siinä stabiloitu jalusta (kameralle tai LiDARille), lentäjä ja navigaattori/kuvaaja, kamerat/keilain sekä GPS/IMU $\Rightarrow$ **hinta 40-50 €/minuutti**.

ESIMERKKEJÄ: Lentonopeus 75 m/s $\Rightarrow$ 4,5 km / min
Saanto ja näytteenottotiheys 1 km – 4 km

LiDAR $\pm 15^\circ$ keilaus $\Rightarrow$ 240 ha (8 p $\times$ m⁻²) – 960 ha (2 p $\times$ m⁻²)

ADS40-kamera ($\pm 32^\circ$) $\Rightarrow$ 560 ha (10 sm) – 2250 ha (40 sm)

UCD ($\pm 27.5^\circ$) $\Rightarrow$ 470 ha (9 sm / 28 sm) – 1870 ha (36/114 sm)

JOS HALUTAAN PUUTULKINTAAN SOPIVAA KUVA-TAI
LIDARAINEISTOA, ON LENNETTÄVÄ ALHAALLA JA/TAI OLTAVA
PAREMPI INSTRUMENTTI

YPI ~ Teoriaa – Kuvausolosuhteet

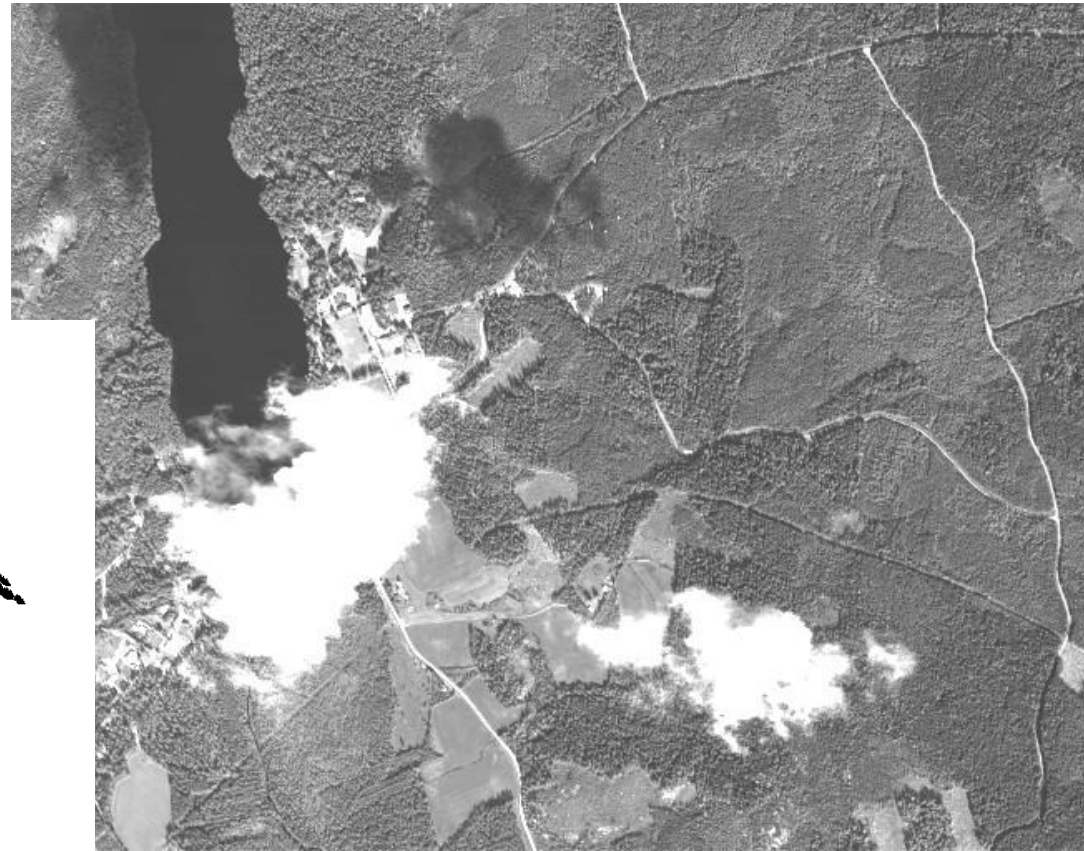
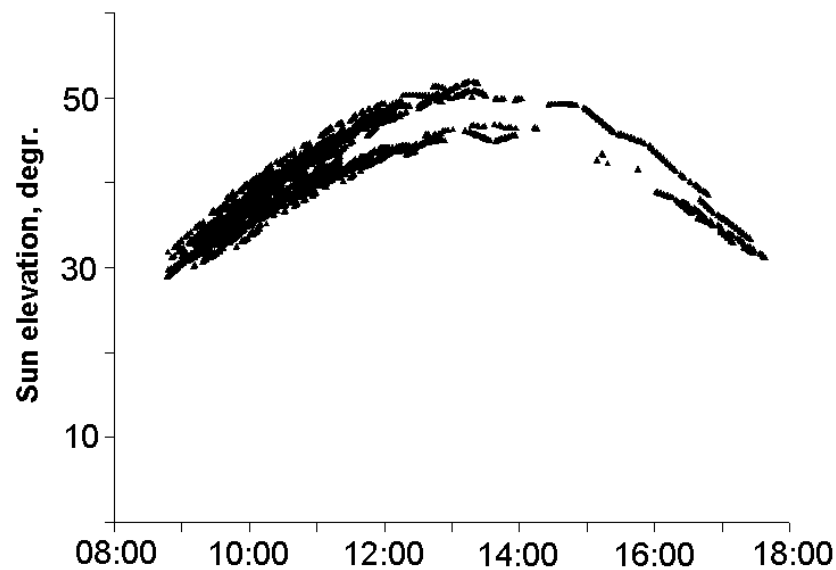
Kuvaus/keilausaika: 1. kesäkuuta – 15-31. elokuuta

Optinen: Pilvetöntä, ei utua, aurinko $> 30^\circ$

LiDAR: Ei kastetta?, Ei pilviä koneen alla.

DATA (tai osa sitä) VOI JÄÄDÄ SAAMATTA

Valotusajat, paikallista aikaa.
Auringon korkeuskulma
 $n > 10000$, FM-Kartta Oy 2003.

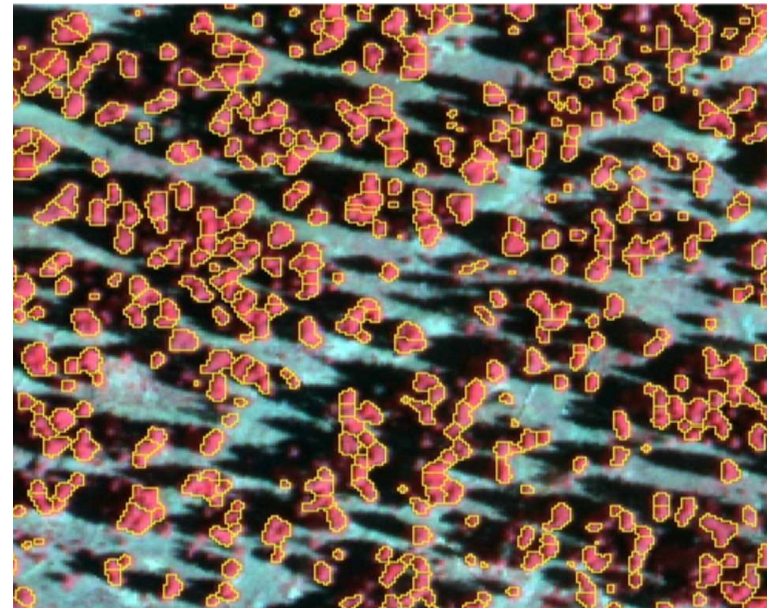


23.08.2008 Leica ADS40-SH52 test

Yksittäisten puiden inventointi (YPI)

Tarvitaan SYSTEEMI, joka osaa tehtävät:

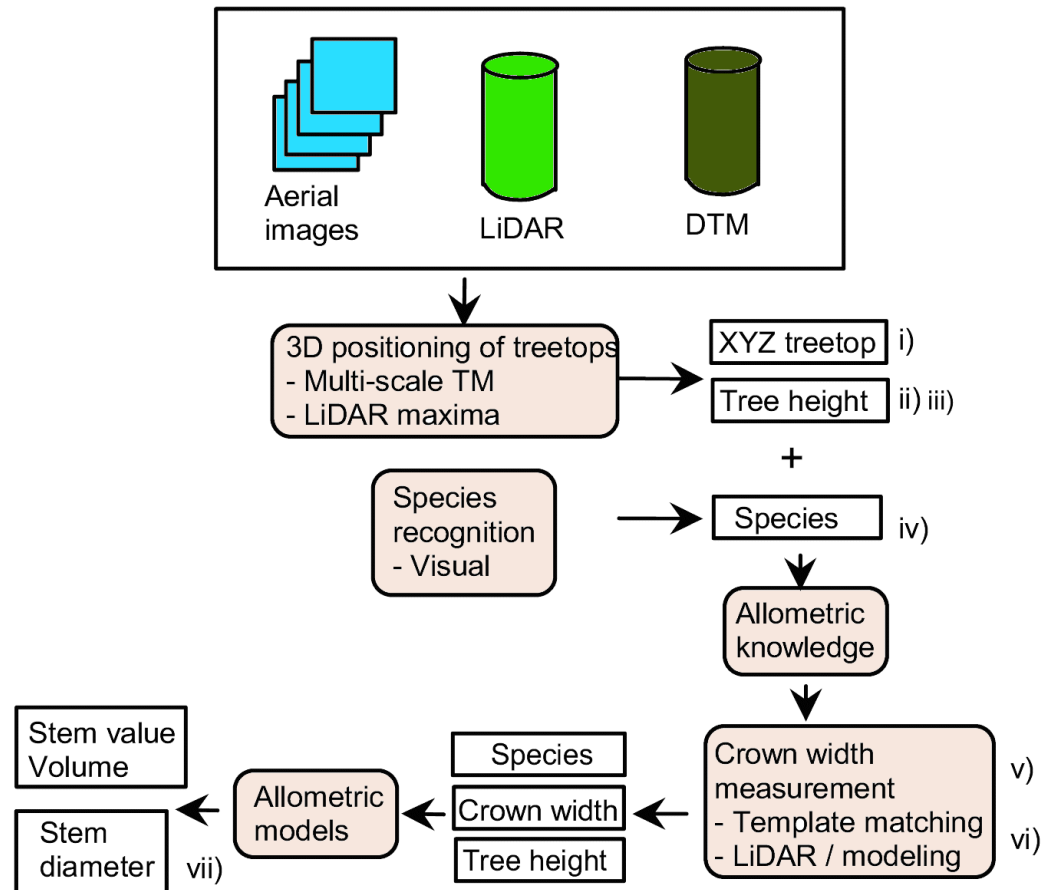
- Puun identifiointi ja/tai 2D/3D-paikannus
- Pääättelee puulajin
- Mittaa puun pituuden
- Mittaa latvuksen leveyden tai muodon
- Johtaa edellisistä runkoa koskevaa tietoa
- Koostaa puujoukkoja / aluetta koskevaa tietoa



www.arbonaut.com

Yksittäisten puiden inventointi (YPI)

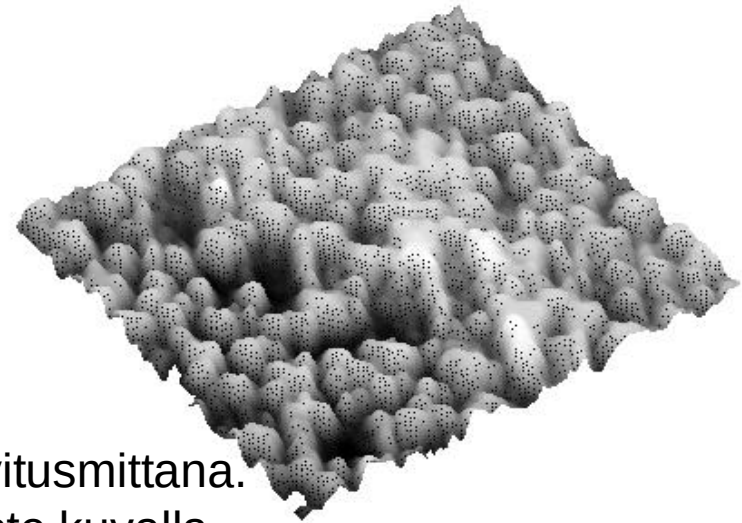
Esimerkki
YPI-systeemistä:



YPI-SYSTEEMI – Puun paikannus

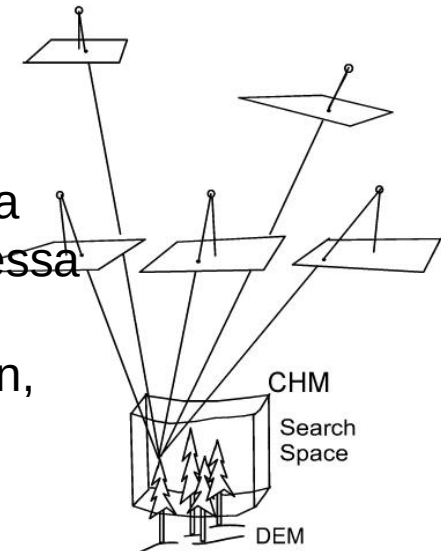
YKSI KUVA

- a) pehmennä kuvaa, hae sävyarvomaksimit, tee niistä siemenpisteet, segmentoi käyttäen geometrisia ja sävyarvorajoitteita TAI
 - b) tee geometris-optinen latvusmalli, tee siitä eri kokoista latvusta edustavia latvusmallikuvia säteenseurantatekniikalla, hae kuvalta samankaltaisia olioita käyttäen esim. L2-normia yhteensovitusmittana.
- ⇒ (a) Latvuksen xy-monikulmio tai (b) latvan xy-piste kuvalla.
Jos ortokuva, $xy \rightarrow XY$.



MONTA KUVAA ja Maaston korkeusmalli (DEM):

- a) Laske jollakin ilmakuvien yhteensovitustekniikalla karkea latvuston korkeusmalli. Käytä tätä rajamaan 3D hakuavaruus, joka kattaa väli- ja päävaltapuiden latvojen korkeuden, tässä avaruudessa käytä yhden kuvan B-menetelmää. TAI
 - b) Jos kuvien yhteensovitus tuottaa tarkan latvuston korkeusmallin, käsittele sitä kuvana, ja käytä yhden kuvan A-menetelmää.
- ⇒ (a, b) Latvan XYZ-sijainti ja (b) latvuksen muoto/koko.



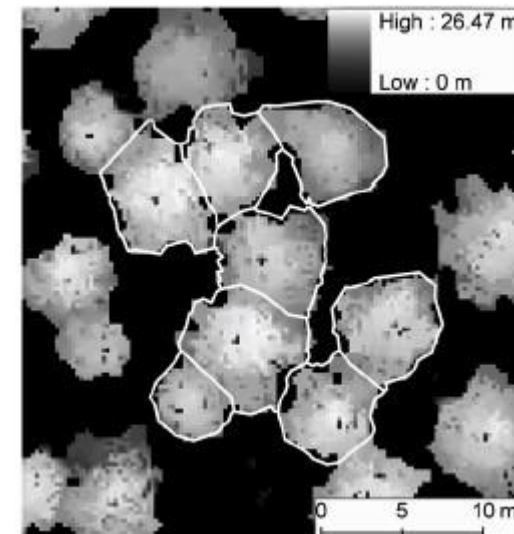
YPI-SYSTEEMI – Puun paikannus

LIDAR-DATAA:

a) Laske jokaiselle pisteelle korkeus maasta, prosessoi alue rasteriksi, kuhunkin pikseliin korkeimman osuman arvo, täytä reiät, alipäästösuodata, hae paikalliset maksimit (vrt. YKSI KUVA), segmentoi latvuksiksi.

b) Sovita pistepilveen latvusmalleja, yleensä jollakin iteratiivisella menetelmällä, lähtöliki-arvot latvojen sijainnille paikallisista maksimeista.

⇒ a) Latvan XYZ-sijainti, Latvuksen XY-rajaus
b) Latvan XYZ-sijainti, Latvuksen XYZ-rajaus



© Juho Pitkänen

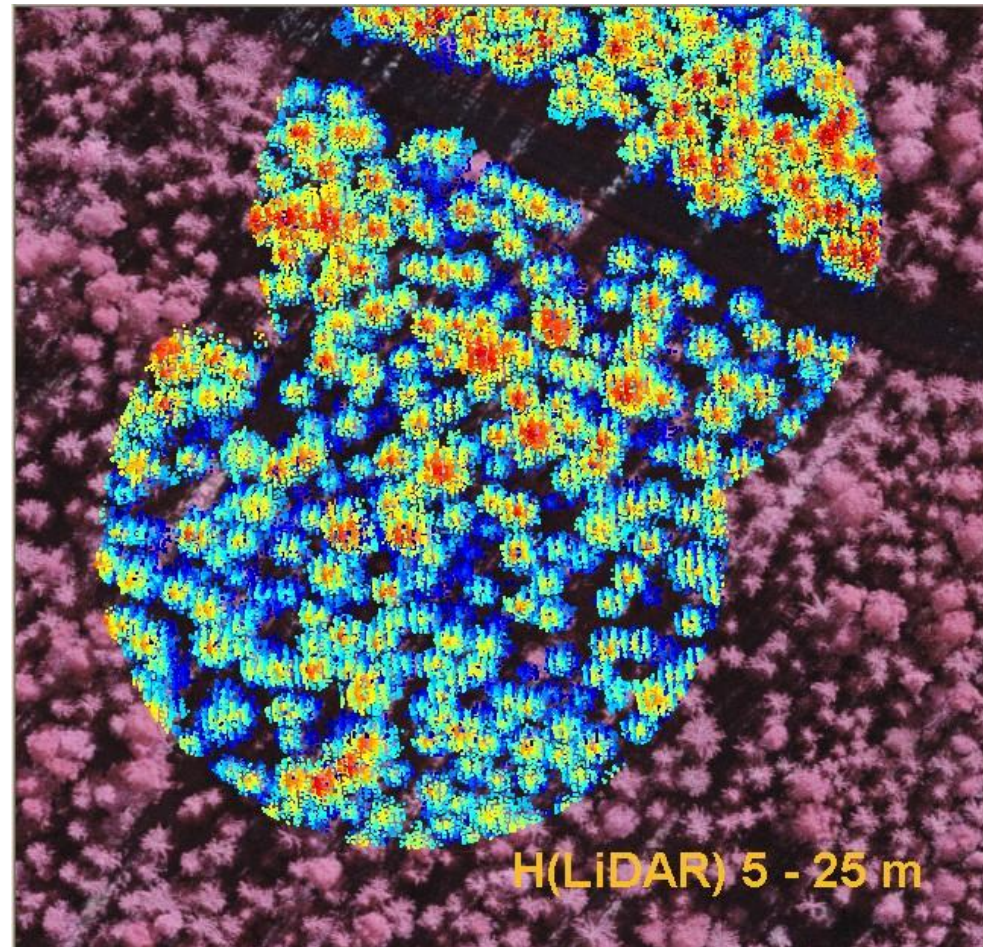
YPI-SYSTEEMI – Puun paikannus

HARVAA LIDAR DATAA ja KUVIA:

Tee latvuston korkeusmalli
LiDARia käyttäen, rajaa sen avulla
3D-hakuavaruus, etsi latvat malli-
kuvien yhteensovitusta käyttäen,
varmistaa LiDARia käyttäen latvuksen
paikka ja koko sovittamalla iteratiivi-
sesti LiDAR-pisteisiin latvusmalli.

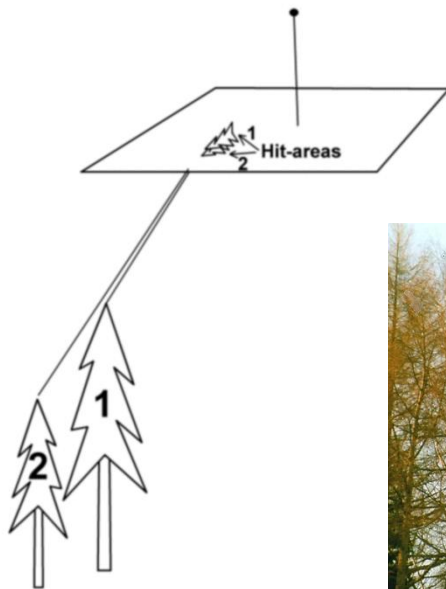
TIHEÄ LIDAR DATA ja KUVIA:

Muunna LiDAR korkeusrasteriksi.
Suodata ja hae maksimit. Tarkenna
näitä 3D-latvapisteitä kuvien avulla.



YPI-SYSTEEMI – Puun paikannus

Paikannustehtävän AUTOMATISOINNIN haasteita:



Kohteet eivät erotu vielä yhdessä projektiossa eikä "nadirikuvaa riitä joka paikkaan"

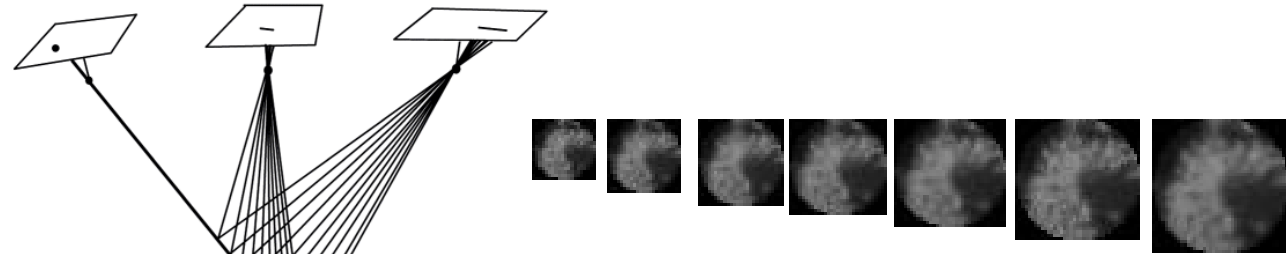


Latvusten koko, muoto ja radiometria vaihtelevat. Algoritmien vaikea mukautua.

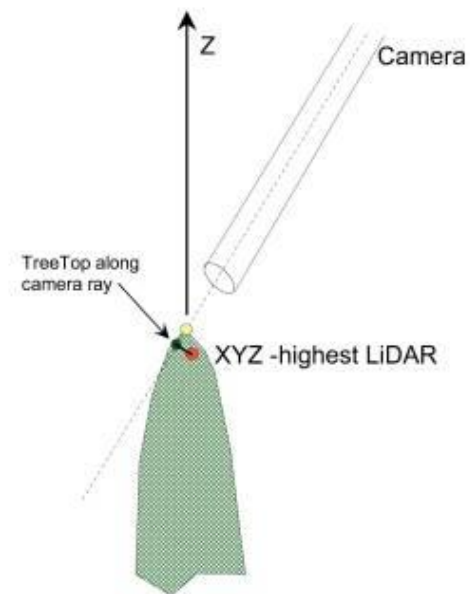
VALEPUITA;
TUPLAPUITA;
MITTAMATTA JÄÄNEITÄ;

YPI DEMOT Paikannus puoliautomaattisesti

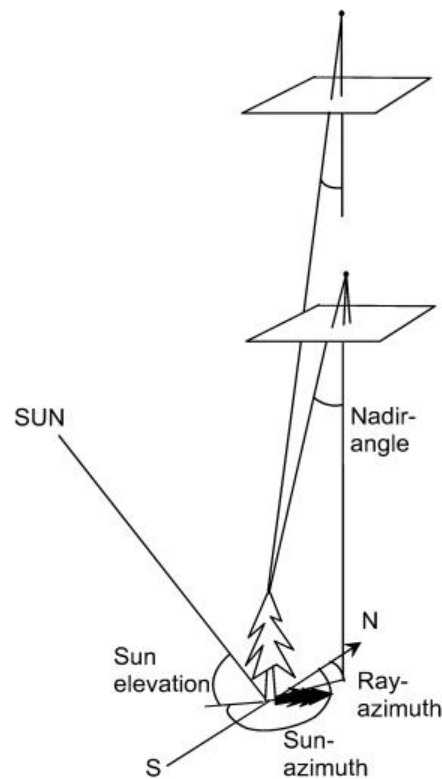
KUVIA:



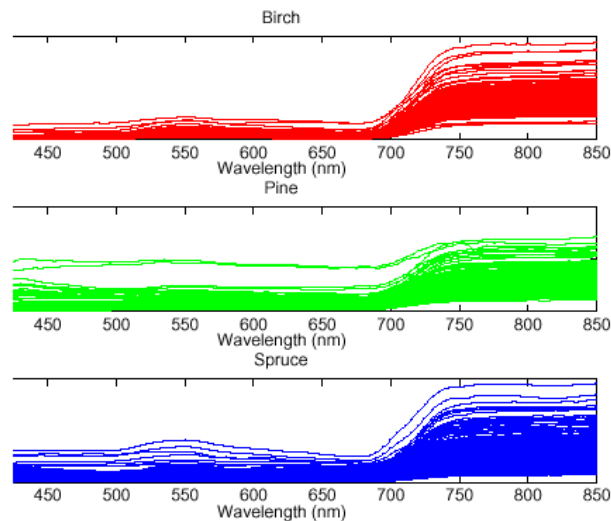
KUVIA ja LIDARia:



YPI-SYSTEEMI – Puulaji



Kuvalle tallentuva spektrinen sormenjälki riippuu kameran radiometriasta, spat. resoluutiosta, kohteen sijainnista kuvalla (BRD-kaksisuuntaisheijastus) ja lentokorkeudesta (väliaineesta).



Puulajin sisällä voimakas vaihtelu ominaisheijastuskäyrässä

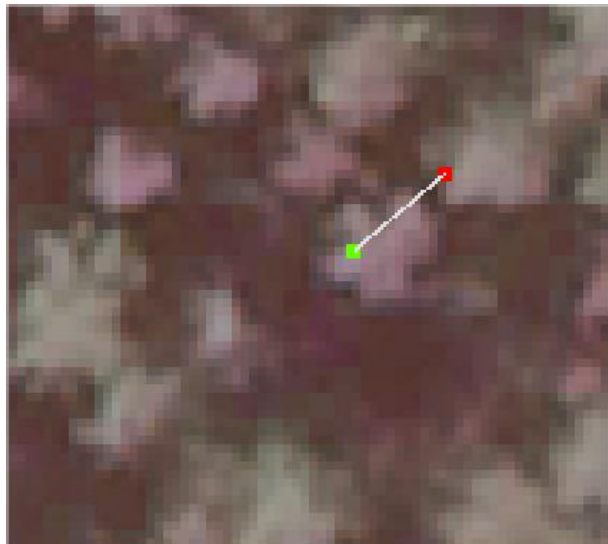
Jääskelainen et al. 1992
(Applied Optics)
COLOR LAB, JoY

YPI-SYSTEEMI – Puulaji



UltraCAM 1 km
PAN-terävöitetty

9 cm PAN
28 cm RGBNIR



UltraCAM 2.5 km
PAN-terävöitetty

25 cm PAN
70 cm RGBMIR

Kuvalla:

Valopikselit

Sekapikselit

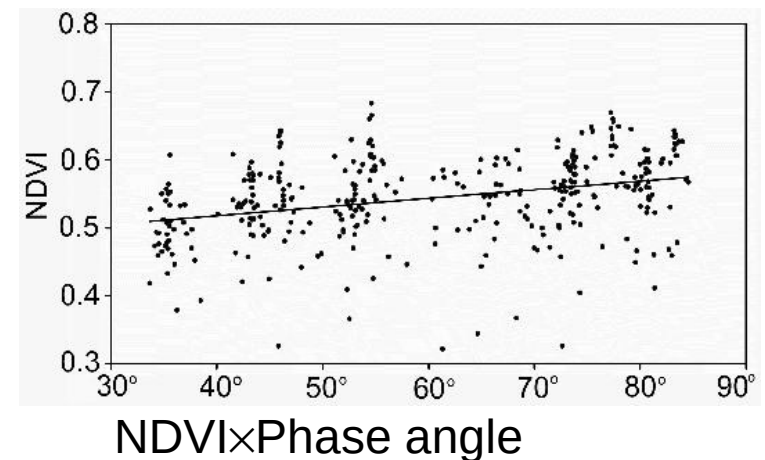
Itsevarjostetut pikselit

Varjopikselit

Sävyarvo (R,G,B,NIR)
muuttuu kun "liikkuu
latvuksen pinnalla"

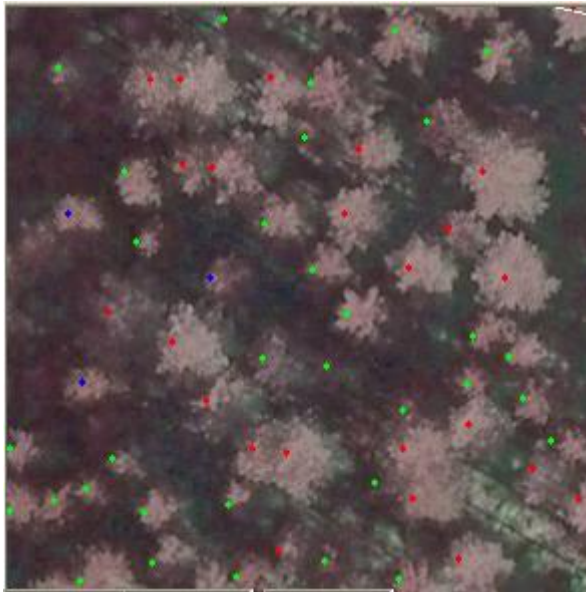
PAN-terävöitys?

BRD-efektien minimointi $\Rightarrow$
otetaan paljon kuvia yli
lennettäessä.

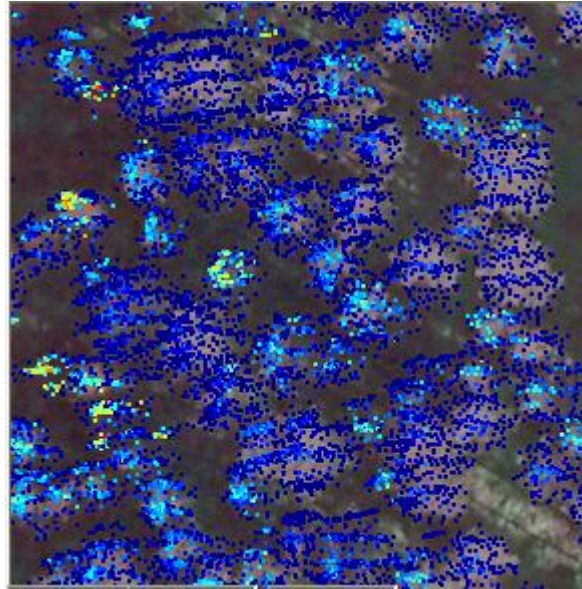


YPI-SYSTEEMI – Puulaji

Entä LiDAR ja sen mittaama 1064 nm backscatter?



Mänty, Kuusi, Lp



> 5 m osumien normalisoitu intensiteetti

Luennoitsijan kokeiluja:

Lehtien koko ja asento ilmeisesti vaikuttavat.

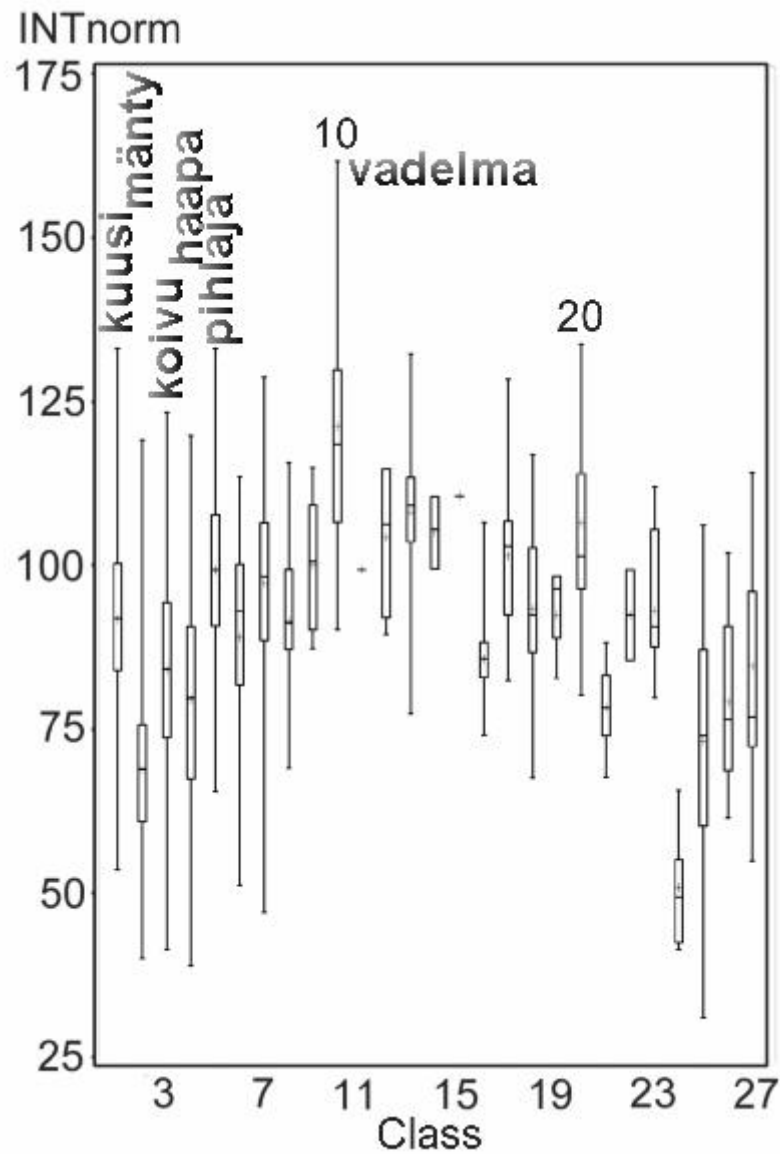
{Raita, Vaahtera, Pihlaja, Lepät} korkeita intensiteettejä

Kuusi – latvaosumat erottuvat muista. Muuten alhaisia intensiteettejä.

Koivu – nuoret puut eroavat vanhoista (lehvästön tiheys).

Mä ja vanhat koivut – alhainen intensiteetti – Haapa sekottuu.

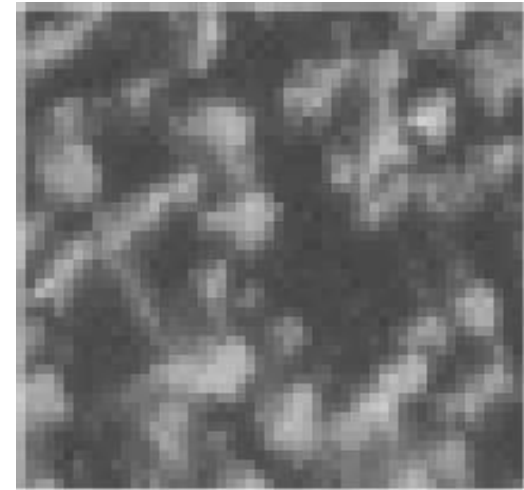
YPI-SYSTEEMI – Puulaji



Intensiteetti 3-13-vuotiaissa
taimikoissa (Silva Fennica 42(5))

YPI-SYSTEEMI – Puulaji

- Visuaalisella tulkinnalla päästy > 90% tarkkuuteen
- Ominaispektrin suuri lajin sisäinen vaihtelu ja eri puulajien samankaltaisuus $\Rightarrow$ tarkkuudella yläraja, joka ei ehkä ole yli 95%.
- LiDAR mukaan tulkintaan, takaisin-sironta ei korreloi ominaisheijastuksen kanssa, vaan mittaa kohteen geometriaa.
- Puulajitulkintaan optimoitu kamera: mitataan realistisia ominaisheijastuskäyriä, esim. 10 nm kaistoissa, tutkitaan aallonpituudet (4-5) joilla suurin selitysvoima, rakennetaan kamera näille taajuuksikunoille. Kalibroidut sensorit $\Rightarrow$ DN=irradianssi. Esim JAS150 JENA, ADS80 Leica.



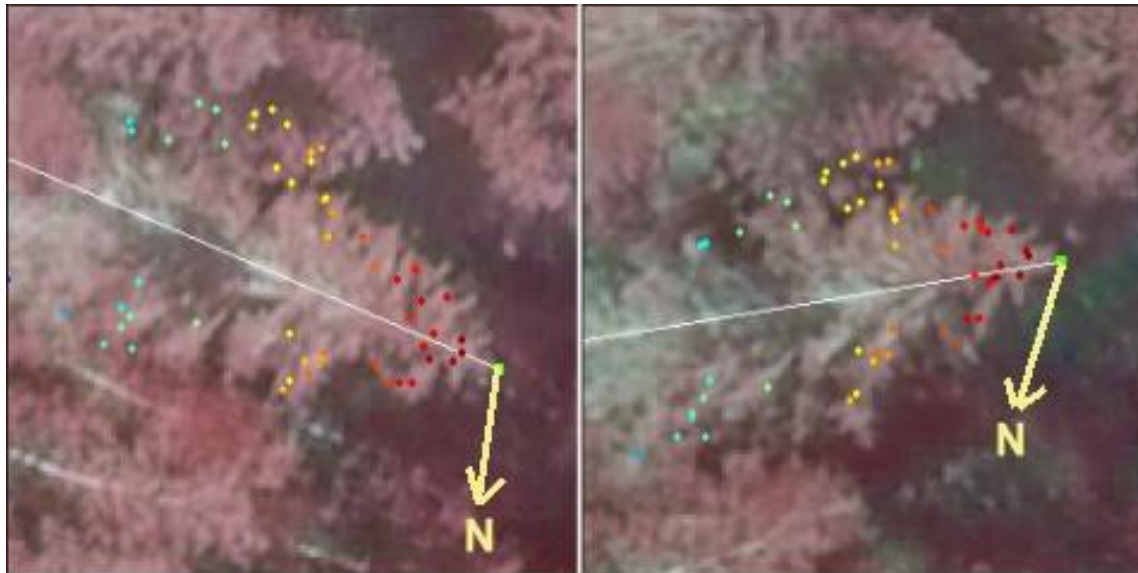
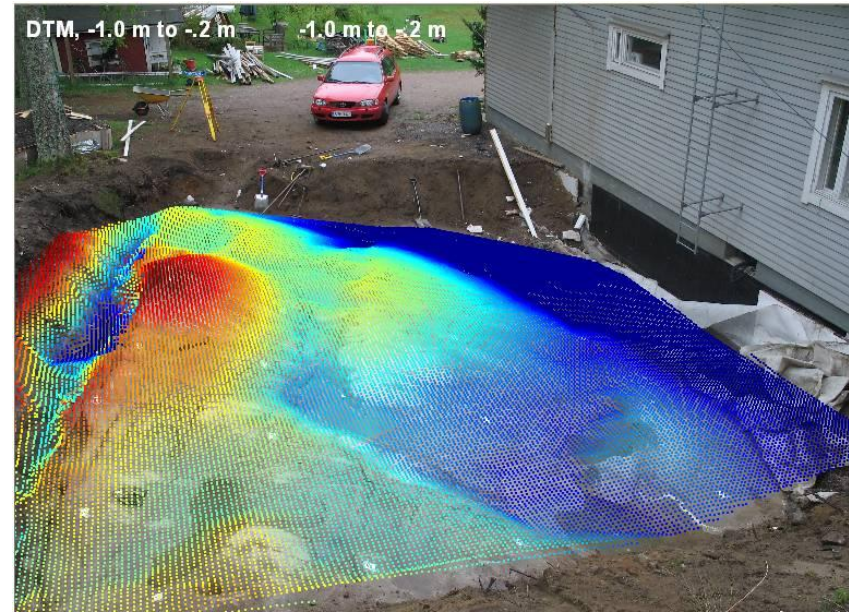
ADS40-SH52 4 km PAN



YPI– Puun pituus

Tarvitaan

- Maaston korkeusmalli (DEM, DTM)
- Latvapisteen 3D-paikannus



Yleensä latvan Z aliarvioituu sekä fotogrammetrisin menetelmin että LiDARIA käytettäessä.

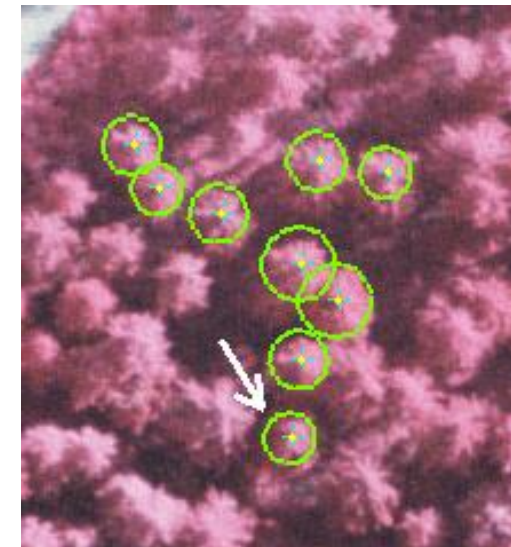
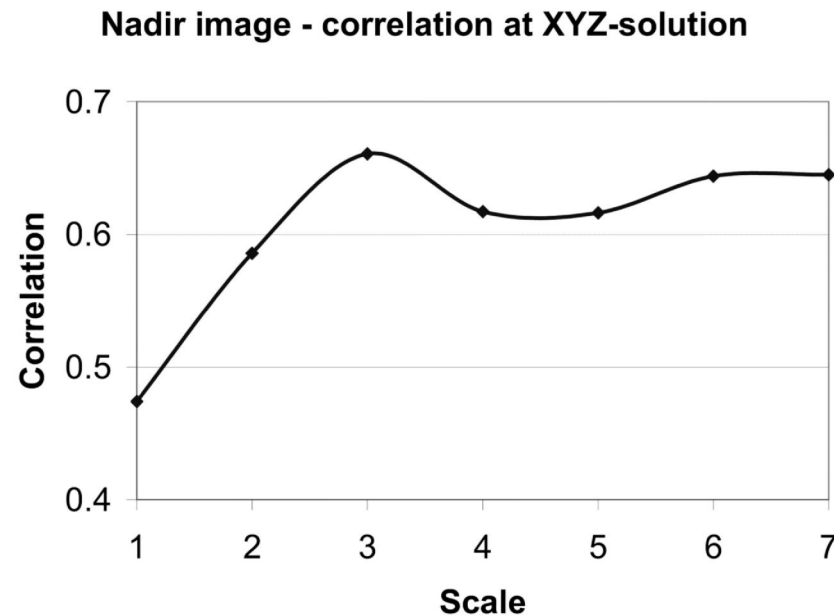
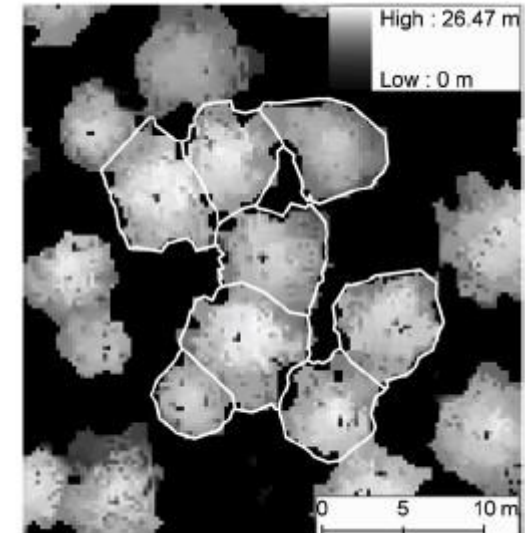
DEM-tarkkuus kasvukaudenaikaisessa keilauksessa ~ 0.25 m.

YPI-SYSTEEMI – Latvuksen leveys / muoto

Nadiri-ilmakuva → segmentointi →
latvuspolygoni → pinta-ala → $dcr_{\max}$

LiDAR_H_rasteri → segmentointi →
latvuspolygoni → pinta-ala → $dcr_{\max}$

Ilmakuva(t) → Eri mittakaavan mallikuvien yhteensovitus
→ Optimi → $dcr_{\max}$

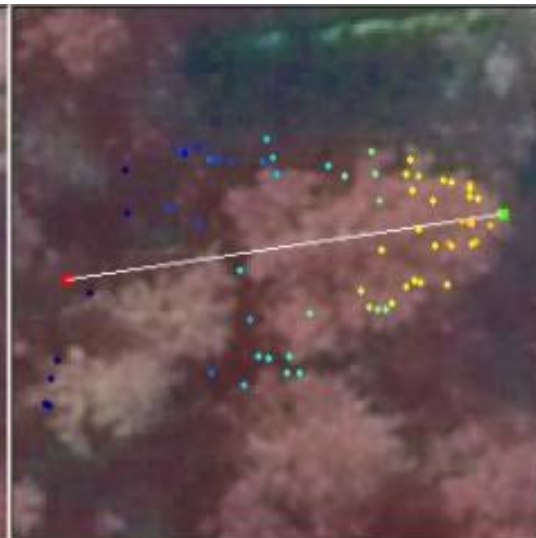
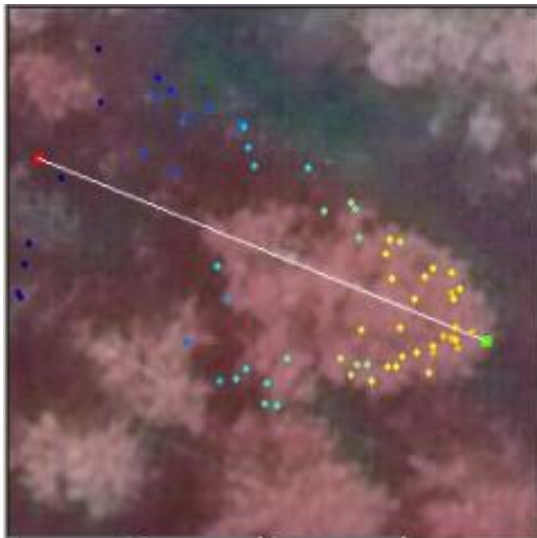


YPI-SYSTEEMI – Latvuksen leveys / muoto

LiDAR-pisteparvi

Tehtävä: Hae latvuksen muoto, olettaen se jollakin tapaa esitettäväksi 3D- pinnaksi.

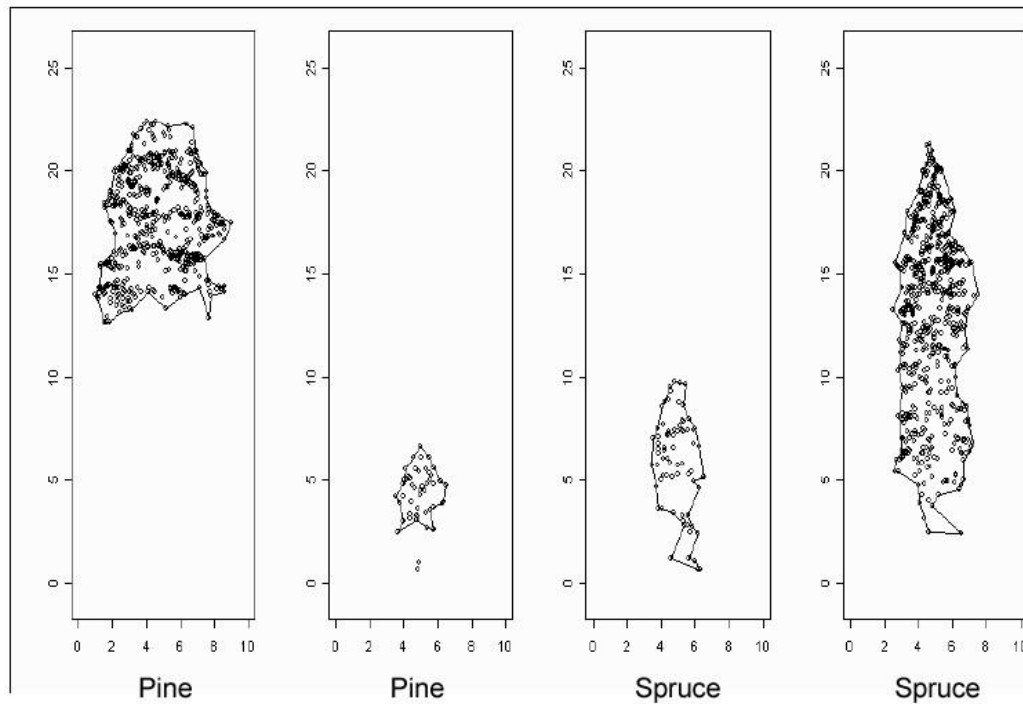
1. Mistä pisteistä mallinnettava puu koostuu eli mitä pistejoukkoa käytetään?
2. Kuinka paljon LiDAR aliarvioi latvuksen kokoa?



YPI-SYSTEEMI – Latvuksen leveys / muoto

Latvusmuoto $\Rightarrow$ Latvusläpimitta (dcr)

Latvusmuoto $\Rightarrow$ Puulaji

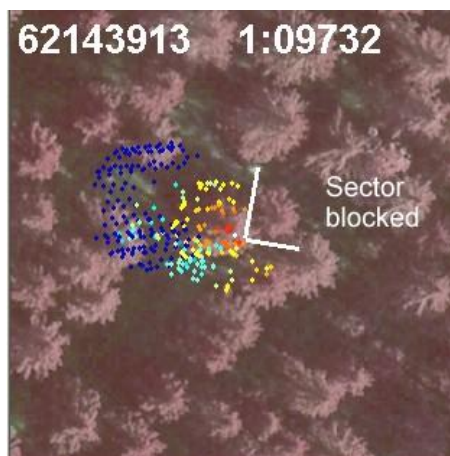
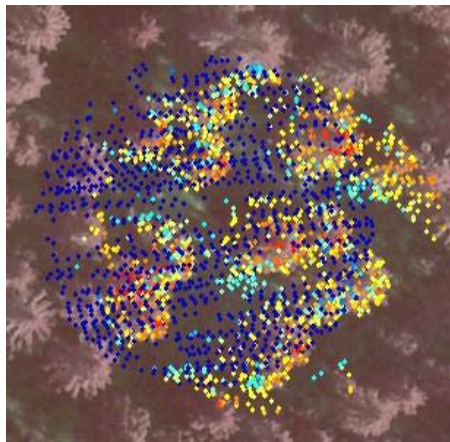


Jari Vauhkonen, JOY

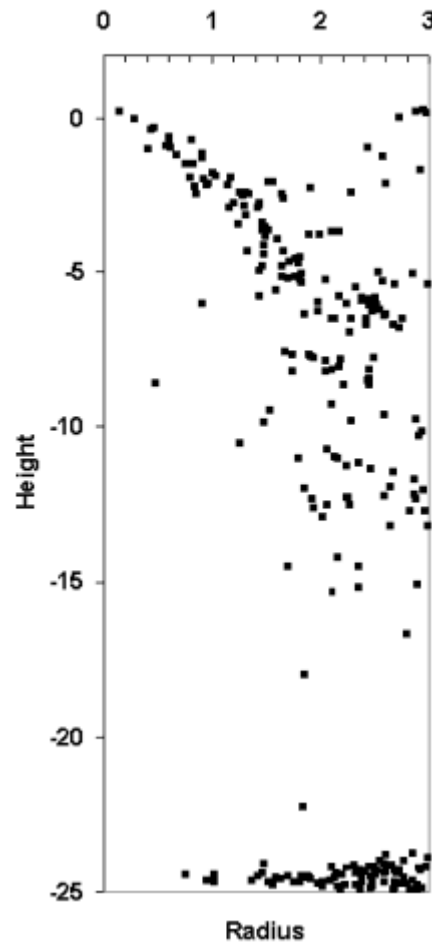
LATVUKSEN MALLINNUS
ALPHA-SHAPE –tekniikalla.

YPI- Latvuksen leveys / muoto

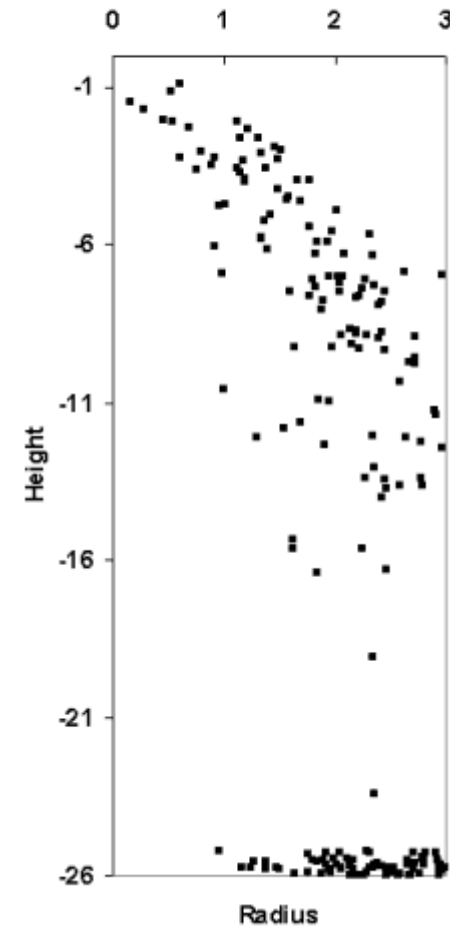
Mitkä pulssit osuneet mallinnettavaan puuhun?



Radius x Height below top
All directions



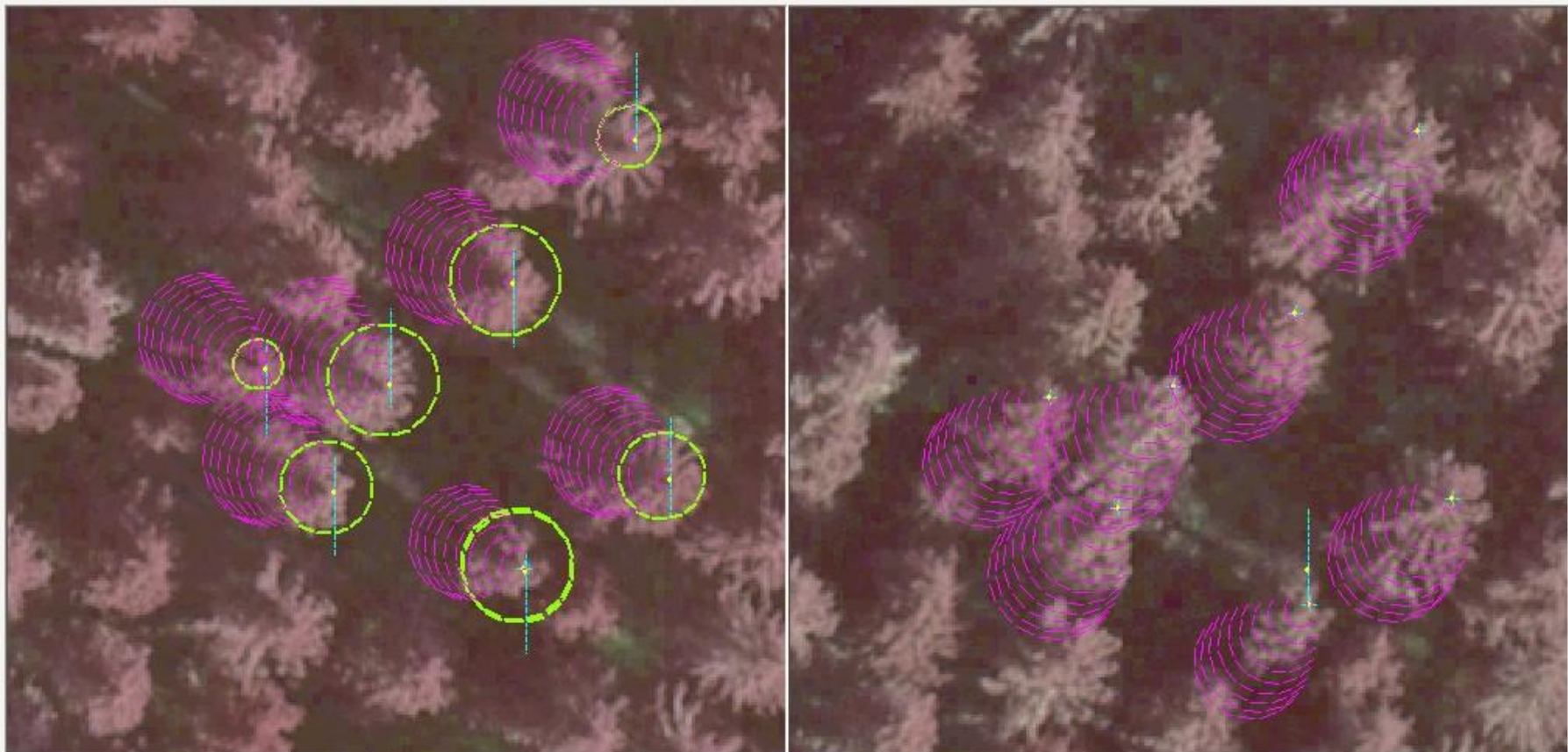
Radius x Height below top
Sector for neighbor filtered



YPI– Latvuksen leveys / muoto - DEMO

Entä jos latvan paikka, puun pituus ja puulaji tunnetaan ennen "latvuksen mittausta" / latvusmallin sovitusta LiDAR-dataan?

Allometriset relaatiot: (puulaji, h) $\Rightarrow$ dcr $\pm$ 30% $\Rightarrow$ Likiarvo



YPI– Latvuksen leveys / muoto

Kolmiparametrinen epälineaarinen funktio joka antaa latvuksen säteen (r) tietyllä korkeudella (x):

$$r = a + b \cdot x^c$$

$$x = 0 \dots 1$$

1. Kerätään kaikki LiDAR-pisteet, jotka jäävät ”ylisuuren” latvuksen sisään.
2. Linearisoidaan latvussäteen antava yhtälö
3. Iteroidaan PNS-tasointulaskulla ja parannetaan parametreja a, b ja c.
4. Lopuksi saadaan jäännösvirhe, [m]. LiDAR-pisteiden neliöidyt etäisyydet latvusmallin pintaan.

YPI- RUNKO

Allometrinen estimointiketju:

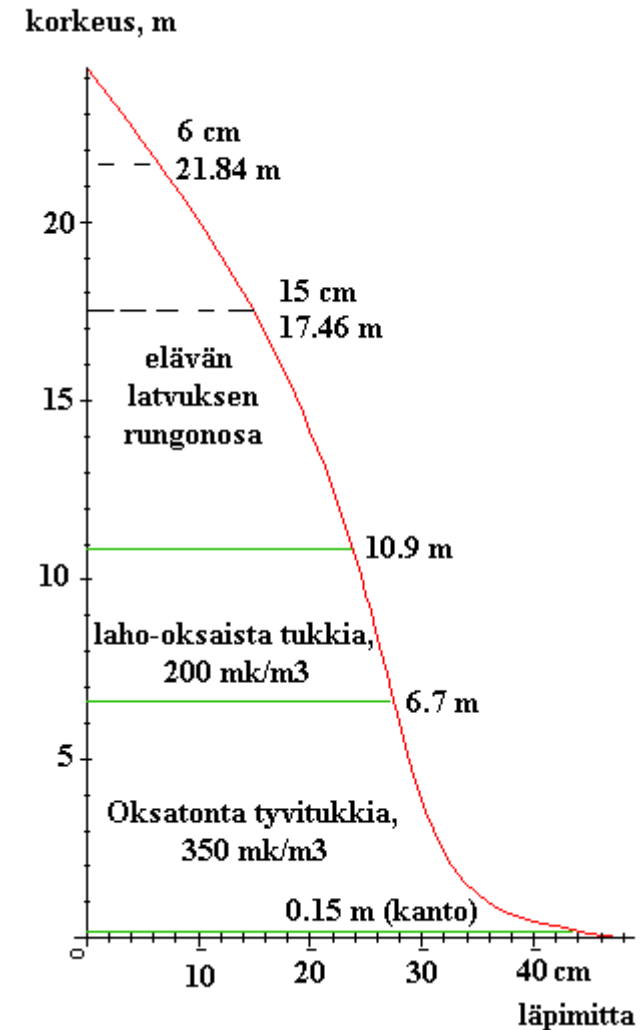
$$d_{13} = f(\text{puulaji}, h, \text{maantiet.alue})$$

$$d_{13} = f(\text{puulaji}, d_{cr}, \text{maantiet.alue})$$

$$d_{13} = f(\text{puulaji}, h, d_{cr}, \text{maantiet.alue})$$

Saatu läpimitta syötetään runkokäyrään

$$d_x/d_{.2h} = f(d_{13}, h)$$



YPI- RUNKO

Kuinka tarkkaa?

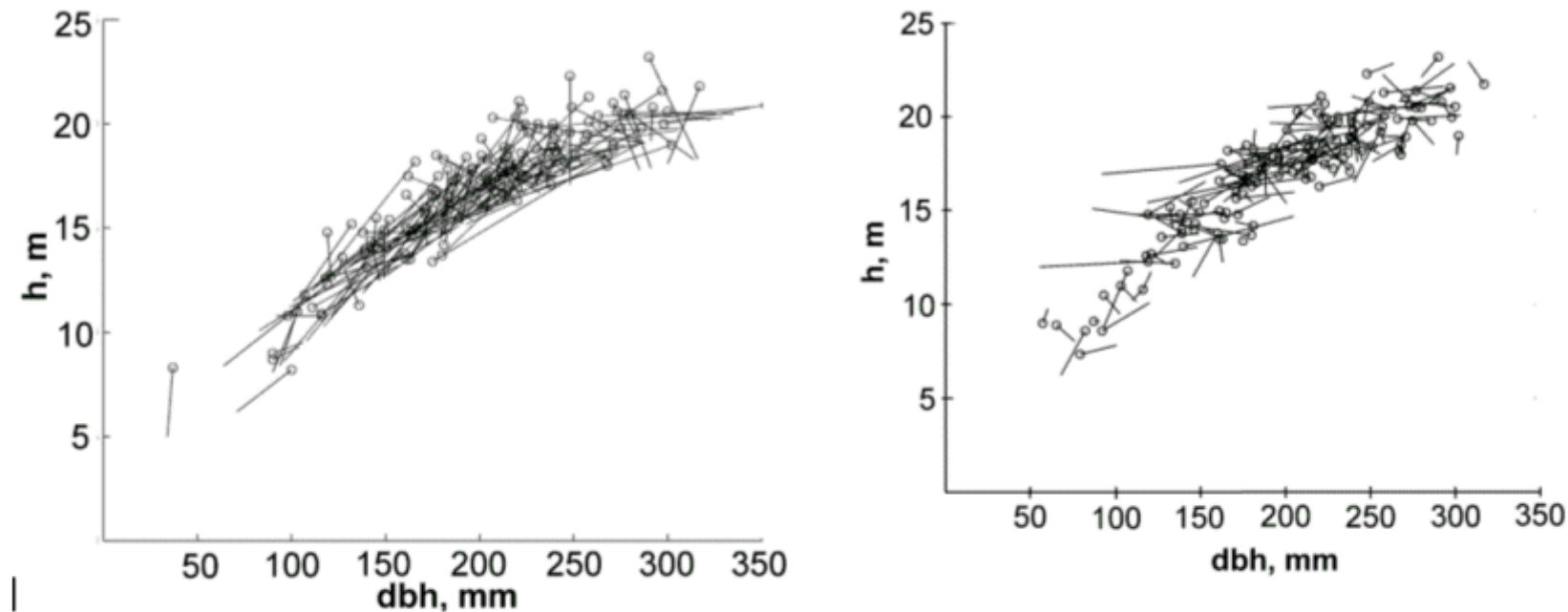


Figure 3. An example of the simulation results using the monoscopic (left) and multiview (right) chains. The true dbh and h values are marked by 'o' and the arrows point to the simulated, erroneous values. Unbiased errors in cw and h measurements. Monoscopic: $\sigma(e_{cw}) = 0.6$ m, $\sigma(e_{HgM}) = 2$ m, $P(sp) = 0.75$. Multiview: $\sigma(e_{cw}) = 0.6$ m, $\sigma(e_h) = 1.0$ m, $P(sp) = 0.75$.

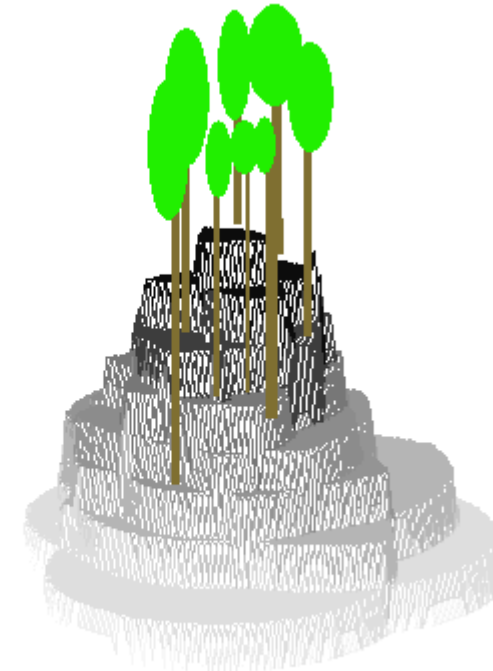
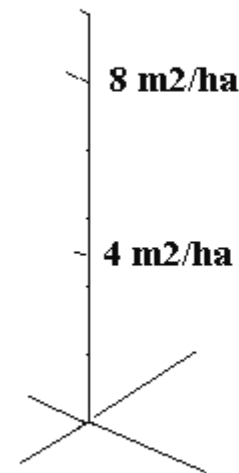
YPI– RUNKO

Kuinka tarkkaa?

Table 12. Combined total effect of systematic and random measurement errors in the stand variables. Means of simulated estimates relative to true values (Δ , %) and the coefficients of variation (CV , %). $P(sp) = 0.85$, $\sigma(e_{cw}) = 0.65$ m, $\sigma(B_{cw}) = 0.5$ m. Monoscopic estimation: $\sigma(e_{HGM}) = 2.0$ m (10%). Multiview: $\sigma(e_h) = 1.05$ m, $\sigma(B_h) = 0.7$ m.

Variable	Monoscopic		Multiview	
	Δ , %	CV , %	Δ , %	CV , %
V	100	32	95	13
V _s	93	35	88	14
V _h	149	29	148	23
V _{sw}	116	47	100	23
V _{pw}	84	9	94	4
D _g	119	11	108	5
H _g	106	10	107	4

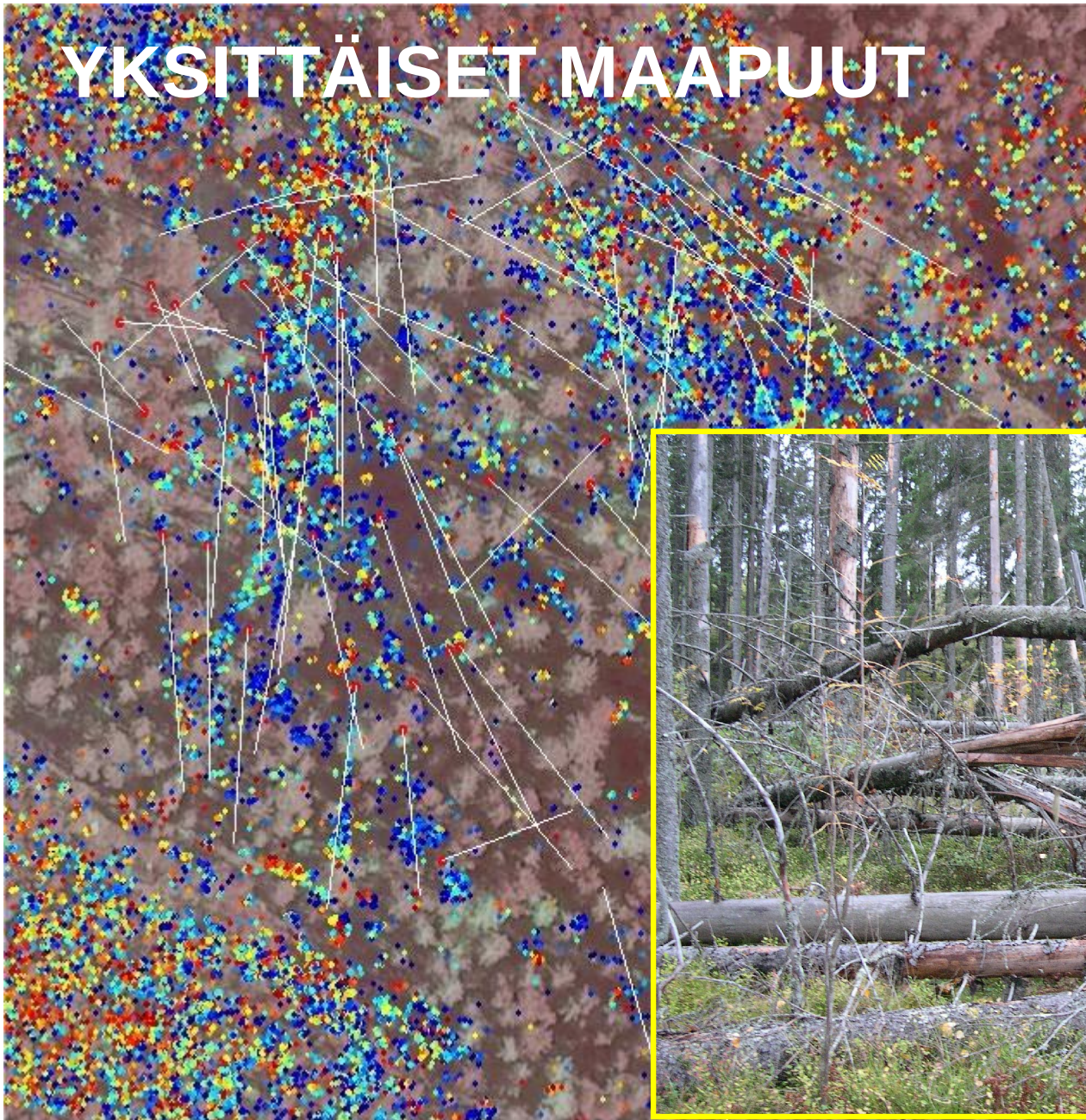
YPI – TULOKSET ALUEILLE



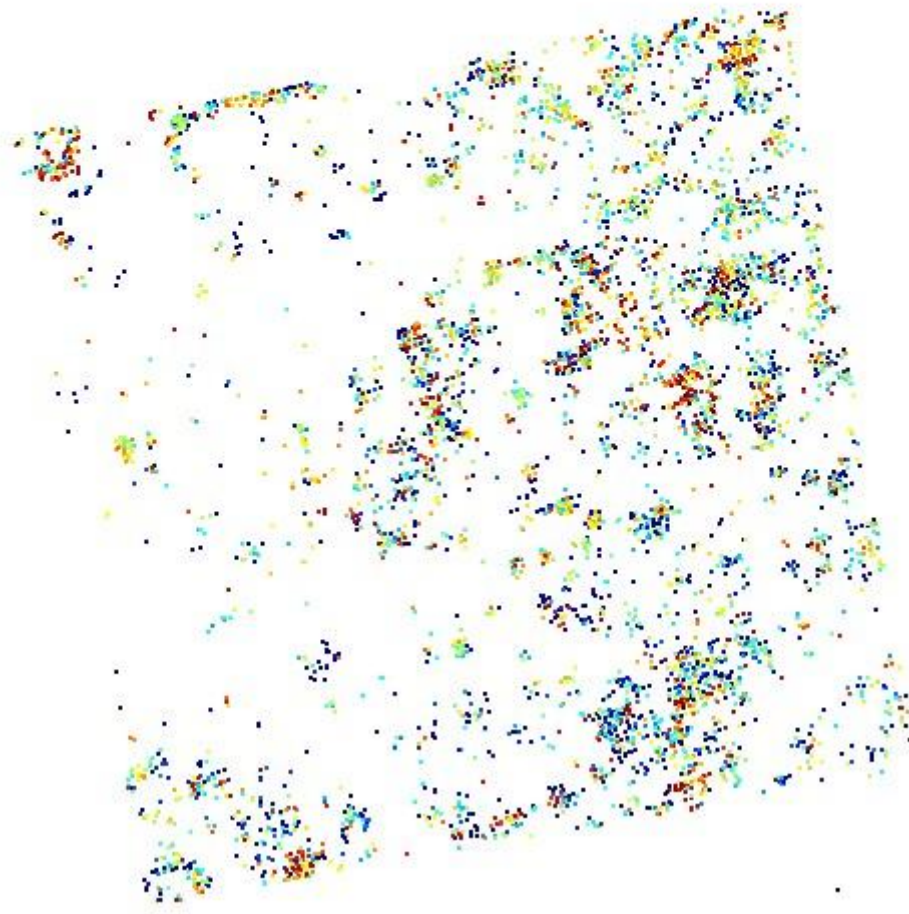
Järeys-, tilavuus-, puutavaralajitiedot
puulajeittain, halutulle alueelle.

Pienet puut / alikasvos – mitattava jos
mahdollista muuten.

YKSITTÄISET MAAPUUT



MARV1-2008 Plot 1 + 5-m buffer, intensities for points h 1-5 m.
Range: 25-100



ALIKASVOS

Voisiko "LiDAR-tomografia"
s.o. korkeusjakauman
tarkastelu auttaa?



YPI – YHTEENVETO

FORAN Ruotsissa implementoinut SingleTree menetelmän (LiDAR), joka perustuu Ulf Södermanin ja Åsa Perssonin kehitystyöhön.

Arbonaut Joensuussa on käyttänyt kuva-analyysiin perustuvaa menetelmää.

- Lentäminen maksaa 40-50€ minuutti
- Puut, joiden suhteellinen pituus on yli 0.6 voidaan mitata
- Rinnankorkeusläpimitta saadaan parhaimmillaan 10% tarkkuudella
- Pituus yleensä aliarvioituu, kohina yleensä alle 1 m
- Puulajitulkinta muodostaa pullonkaulan. Tarkkuus 70-80%.
- Järkevää puustoissa joiden $H > 7-8$ m.
- LiDAR pistetiheys 8-10 p/m²
- Ilmakuvaus < 2.5 km.

KIITOS.