



# Võrastiku läbipaistvuse mõõtmine

Mait Lang

lang@to.ee



TARTU ÜLIKOOL  
Tartu observatoorium



**Eesti Maaülikool**  
Estonian University of Life Sciences



Eesti kauseirepäev Tõraveres, 14.11.2024

Ettekanne tugineb peamiselt artiklile

Mait Lang, Mikk Antsov, Andres Mumma, Indrek Suitso, Andres Kuusk, Kaarel Piip. 2024. Comparison of forest canopy gap fraction measurements from drone-based video frames, below-canopy hemispherical photography, and airborne laser scanning.

Vastu võetud ajakirja European Journal of Remote Sensing.

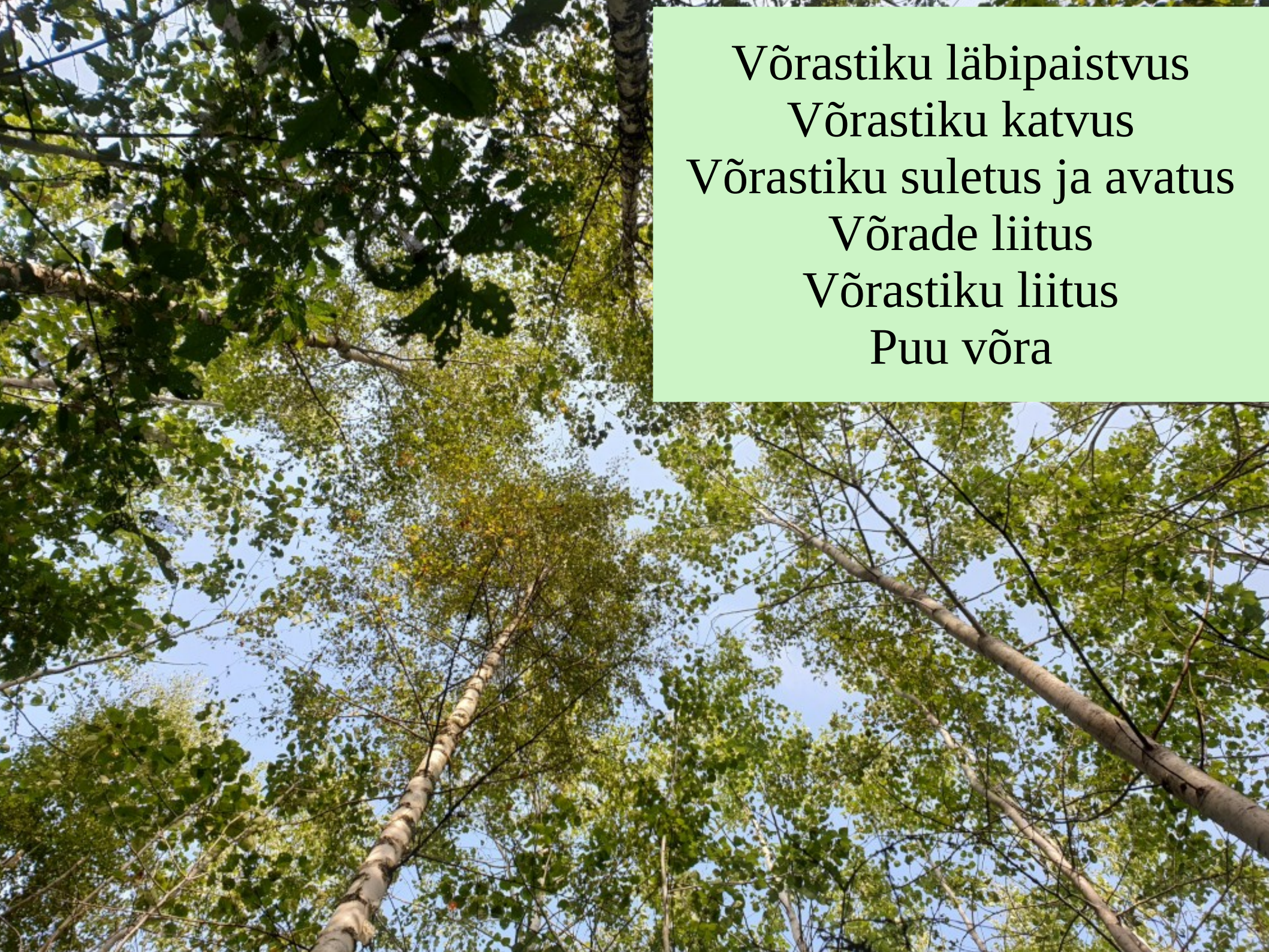
Asutused:

Tartu Observatory, University of Tartu, 61602 Tõravere, Estonia.

Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu, Estonia.

Estonian Military Academy, Riia 12, 51010 Tartu, Estonia.

Estonian Academy of Security Sciences, Kase 61, 12012 Tallinn, Estonia.



Võrastiku läbipaistvus  
Võrastiku katvus  
Võrastiku suletus ja avatus  
Võrade liitus  
Võrastiku liitus  
Puu võra



# Taimkatte indeks PAI

## Vaba vaate tõenäosus

$$l_{\theta} = \frac{l_s}{\cos \theta}$$

$$PAI_s = \frac{K}{l_s}$$

$$PAI_{\theta} = \frac{K \cos \theta}{l_s}$$

$$LAI \leq PAI$$

$l_s$  : proovi pikkus

$K$  : puudete arv

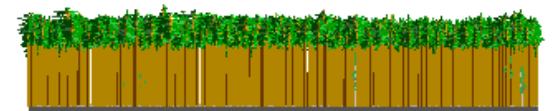
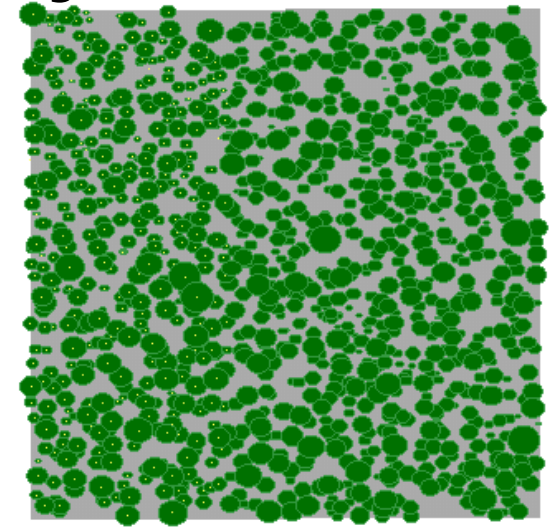
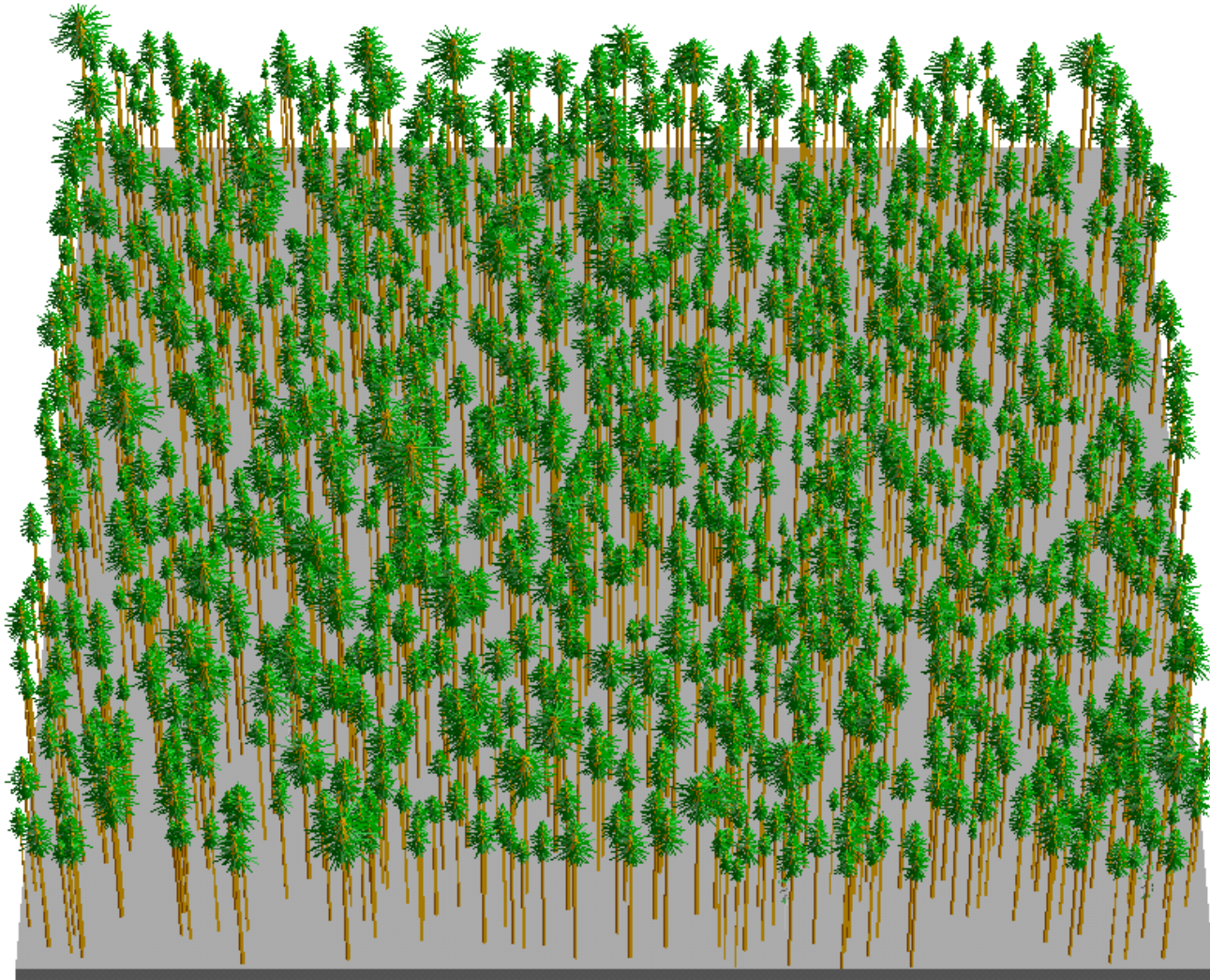
$PAI_s$  : indeks seniidi suunas

$PAI_{\theta}$  : indeks vaatenurga  $\theta$  suunas.

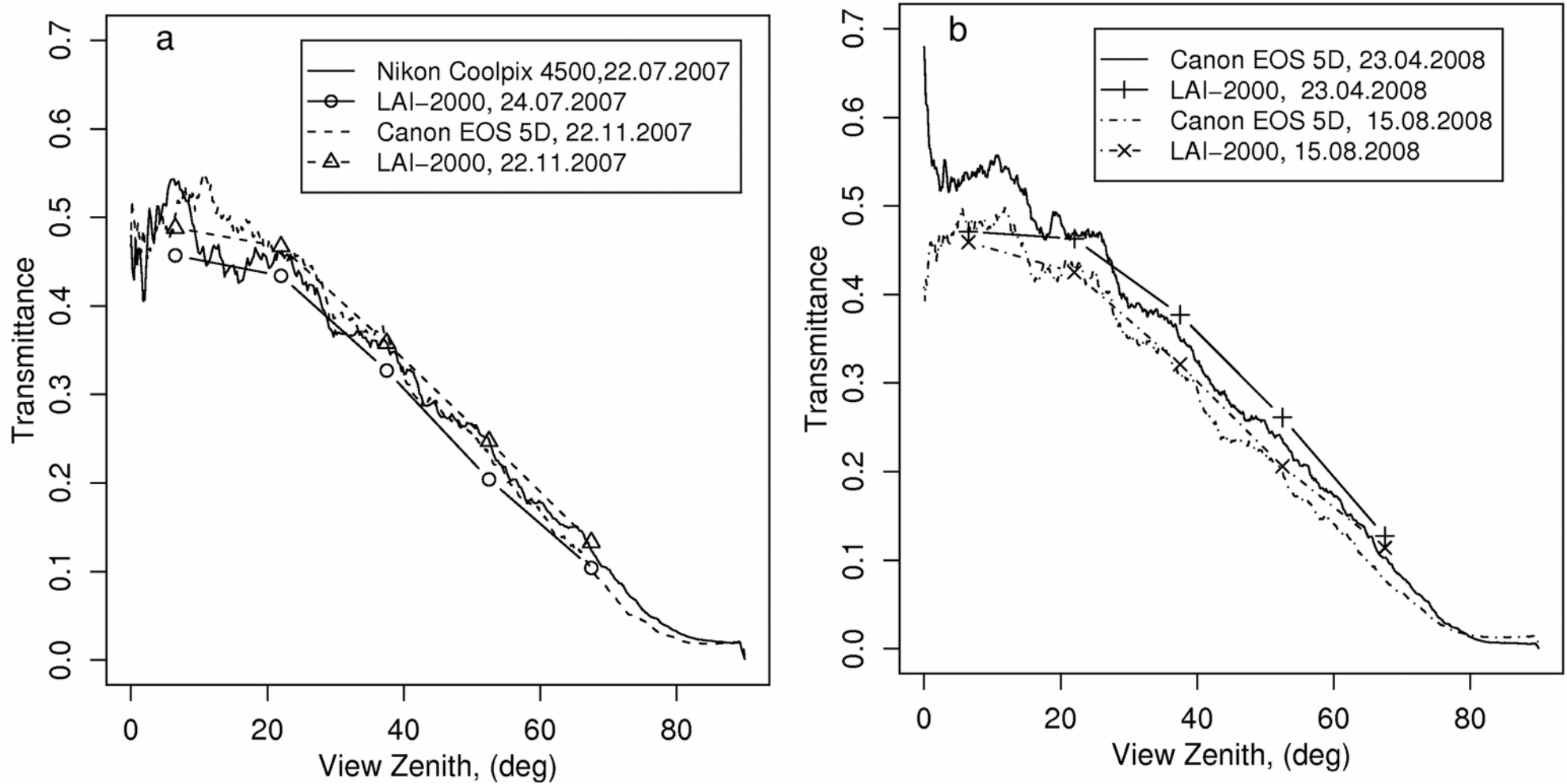
$\theta$

Männik JS81-7

# RAMI männik Järveljal

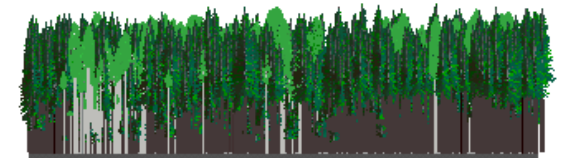
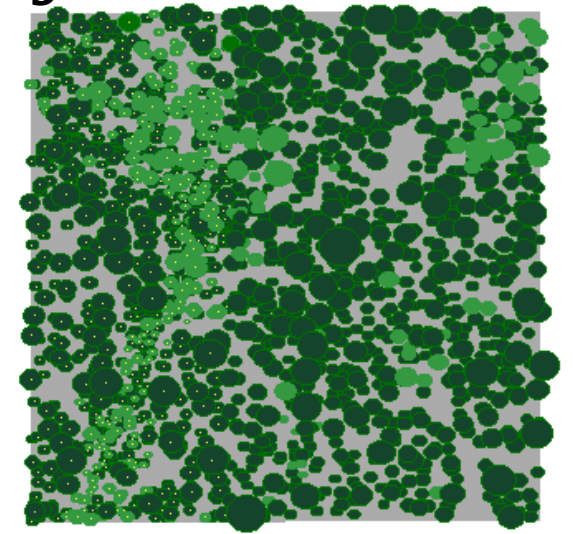
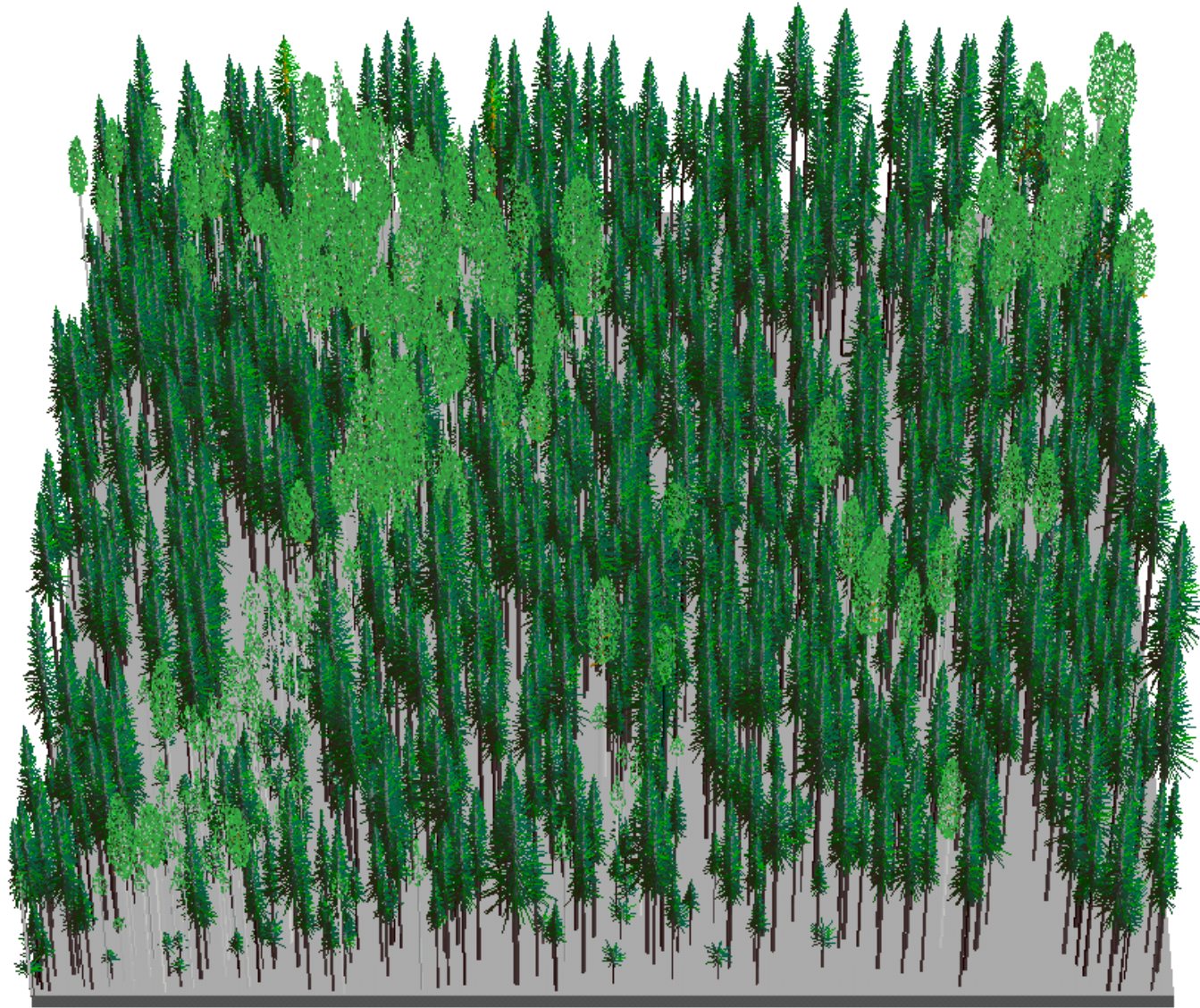


# RAMI männik Järveljal

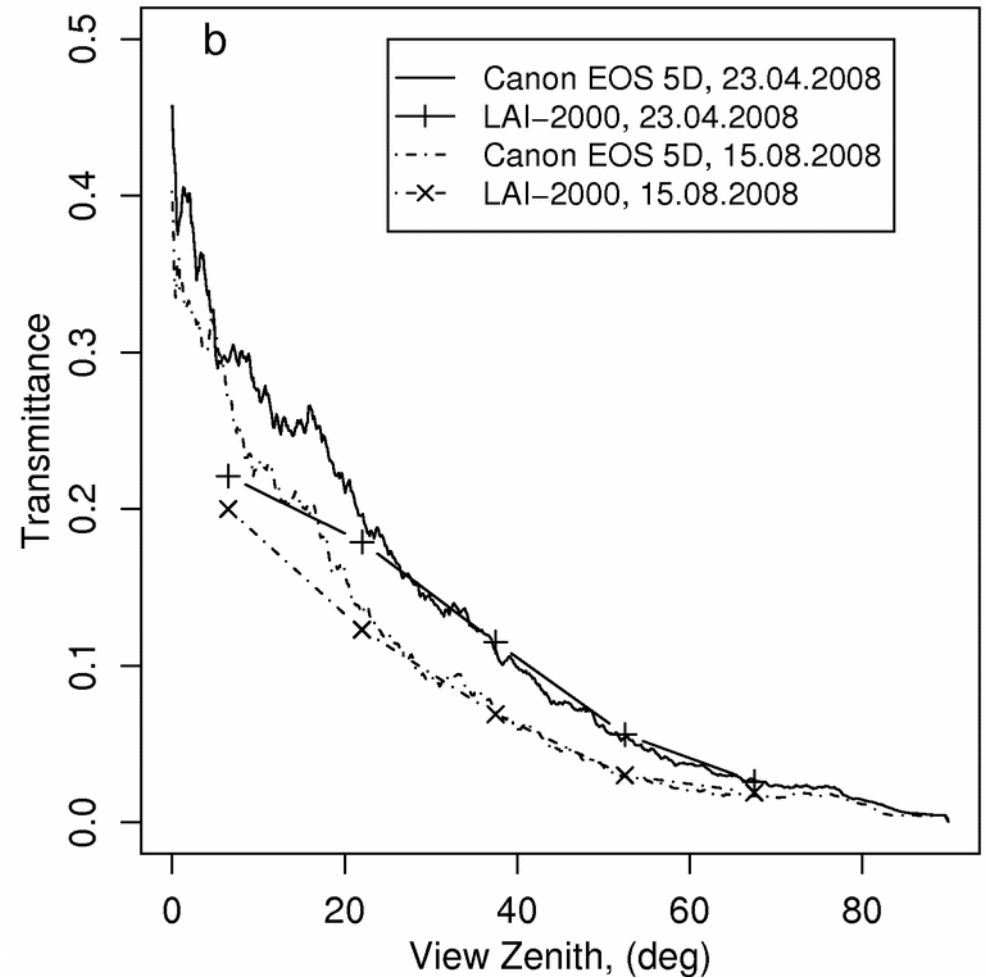
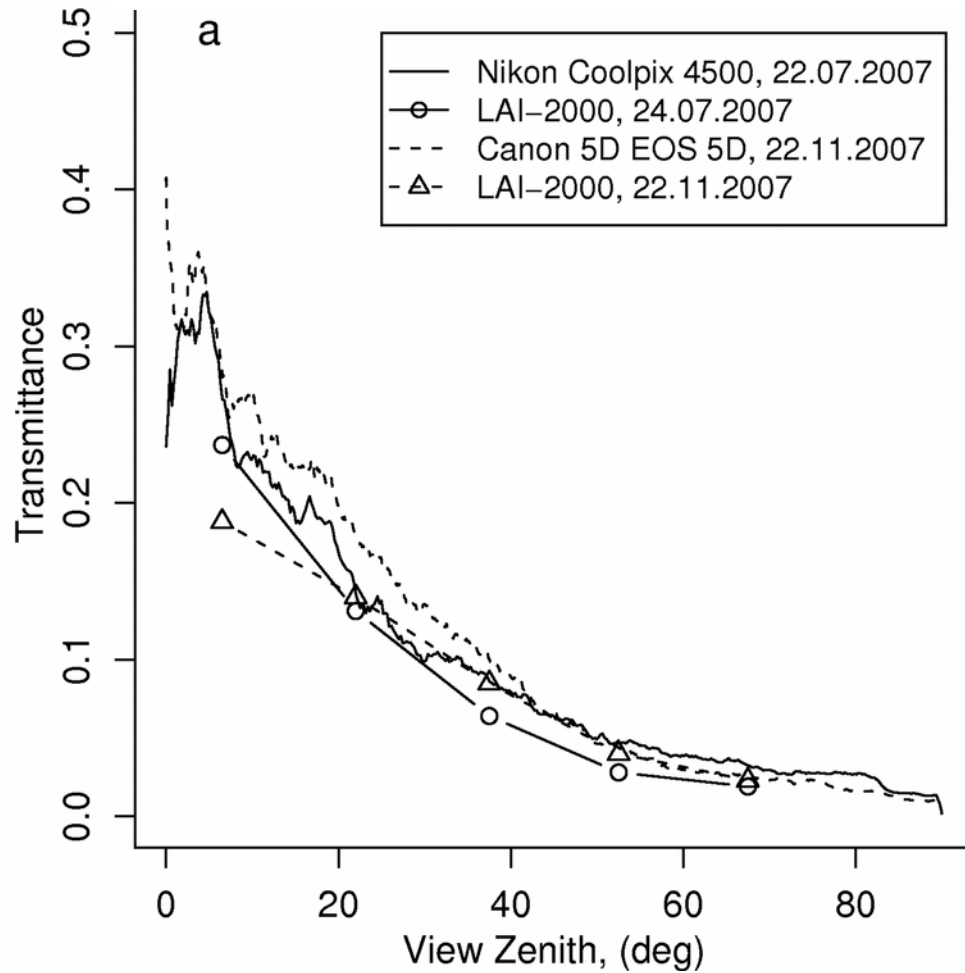




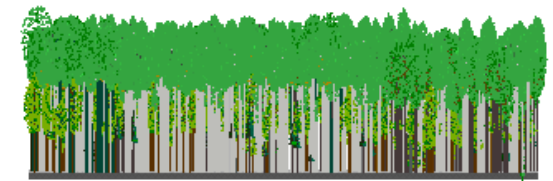
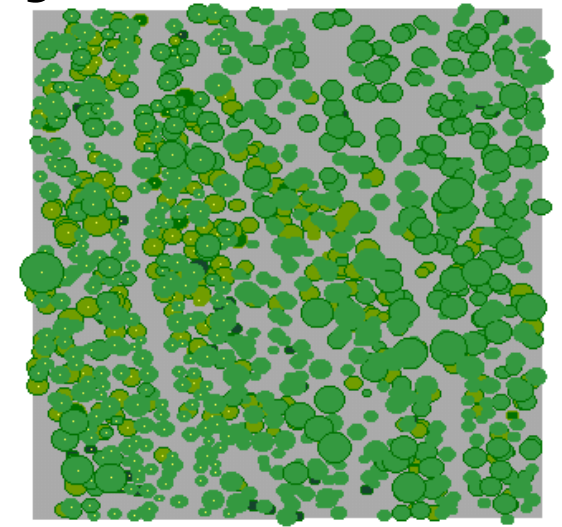
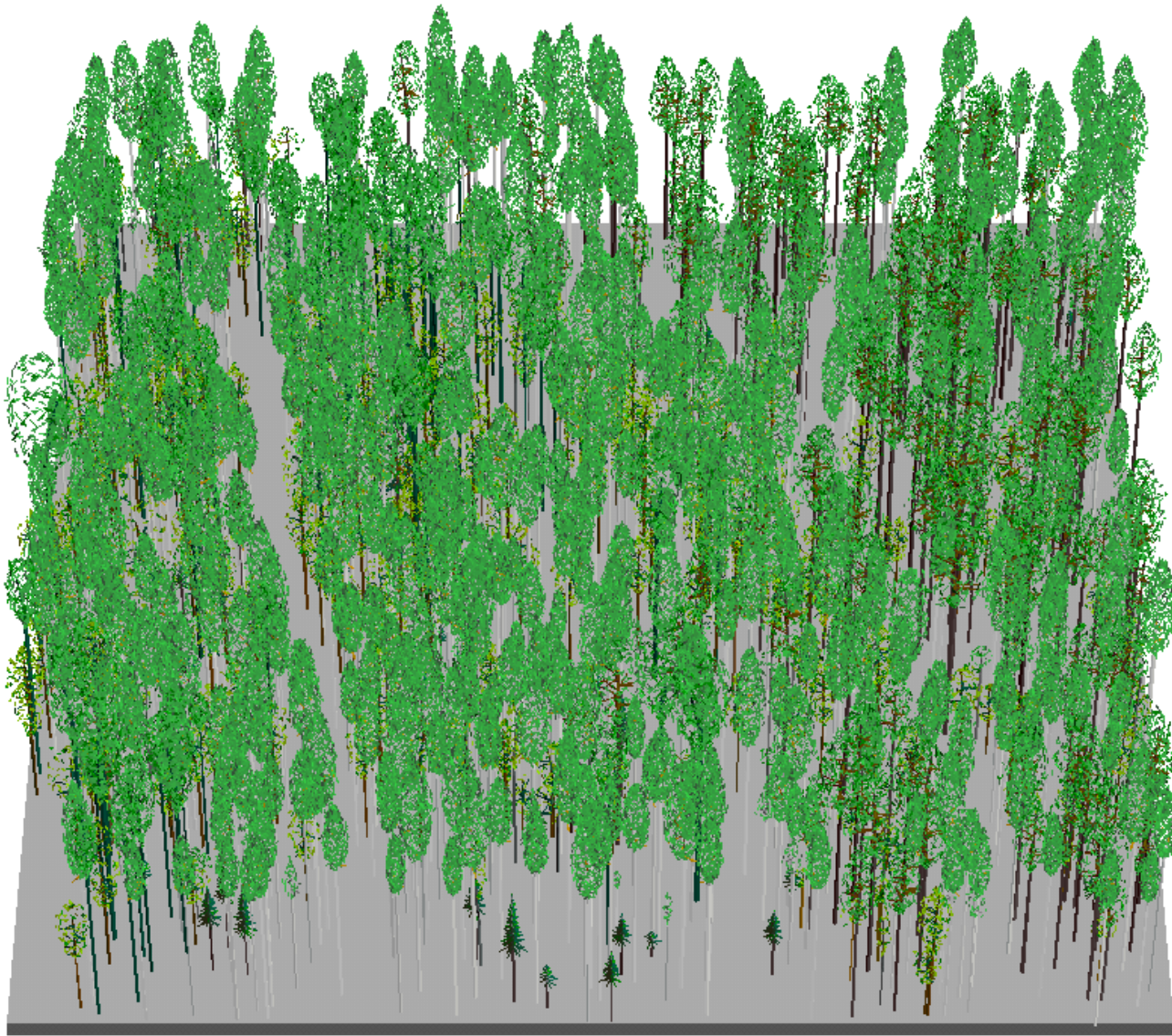
# RAMI kuusik Järveljal



# RAMI kuusik Järveljal

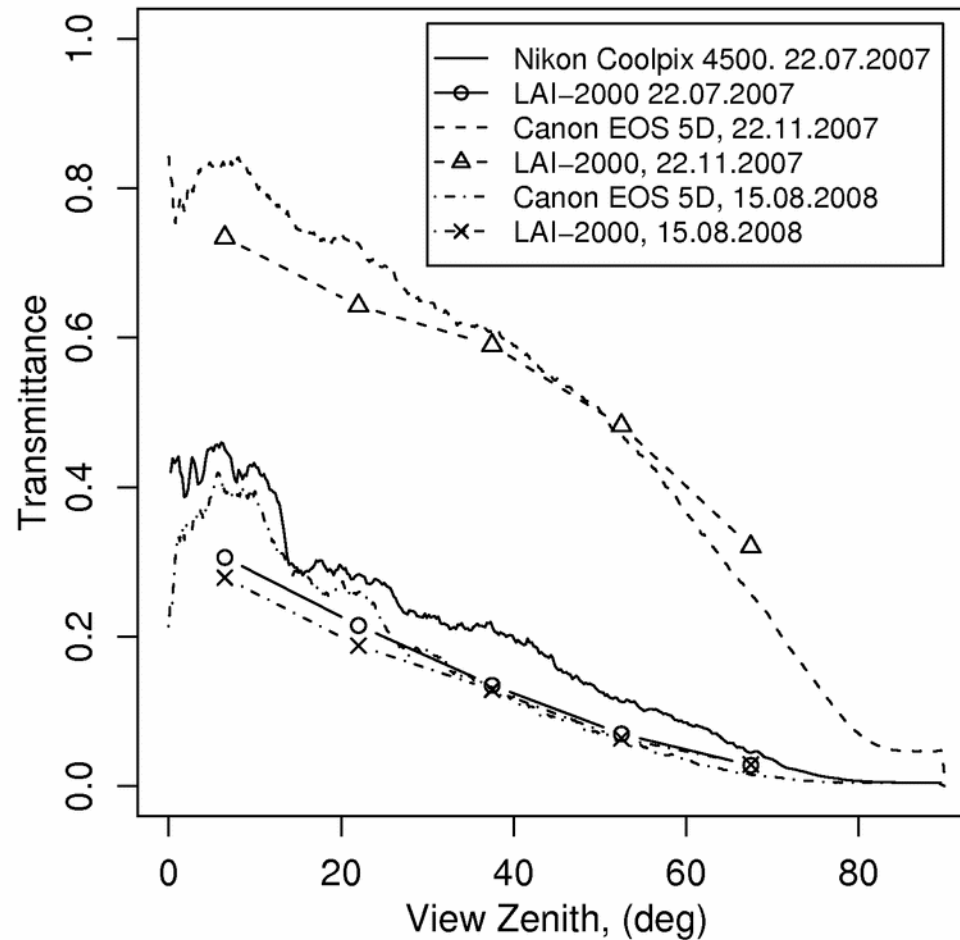


# RAMI kaasik Järveljal



# RAMI kaasik

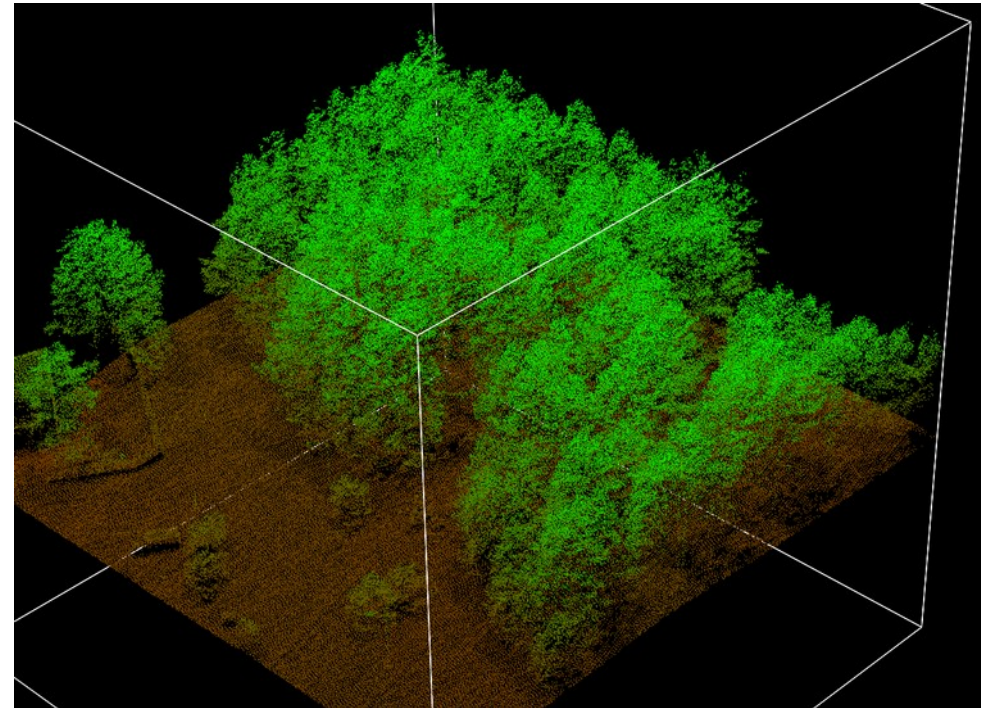
## Järvseljal lehtedega ja ilma lehtedeta



# Kaamerad ja lidarid - aerofotod ja punktipilved



Droonikaamera  
geomeetriamudeli alusandmete  
mõõtmise.

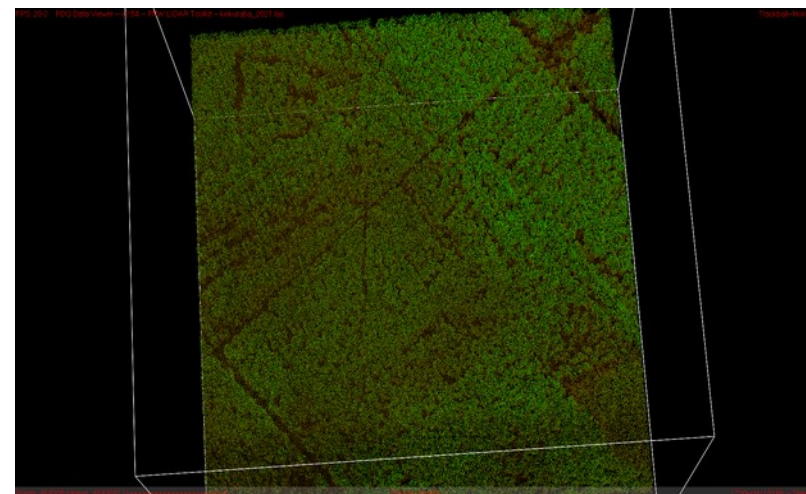


Lang, George, Borysenko, 2022.  
Sinu Mets (4) detsember 2022.

Zenmuse X5 kaameraga DJI Inspire droon



# Kiriku raba männiku võrastiku läbipaistvuse mõõtmine



(2021. aasta) aerolidari mõõtmisandmed Eesti Maaameti arhiivist.

Katseala asus Laeva-Pikknurme-Kursi metsandikus



Kaamera Canon 5D Sigma 8 mm  
1:3.5 EX DG poolsfääriobjektiiviga.

Ülelend h= 40 m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend h= 40 m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri



Ülelend  $h = 40$  m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend h= 40 m, nadiirnurk 30 kraadi



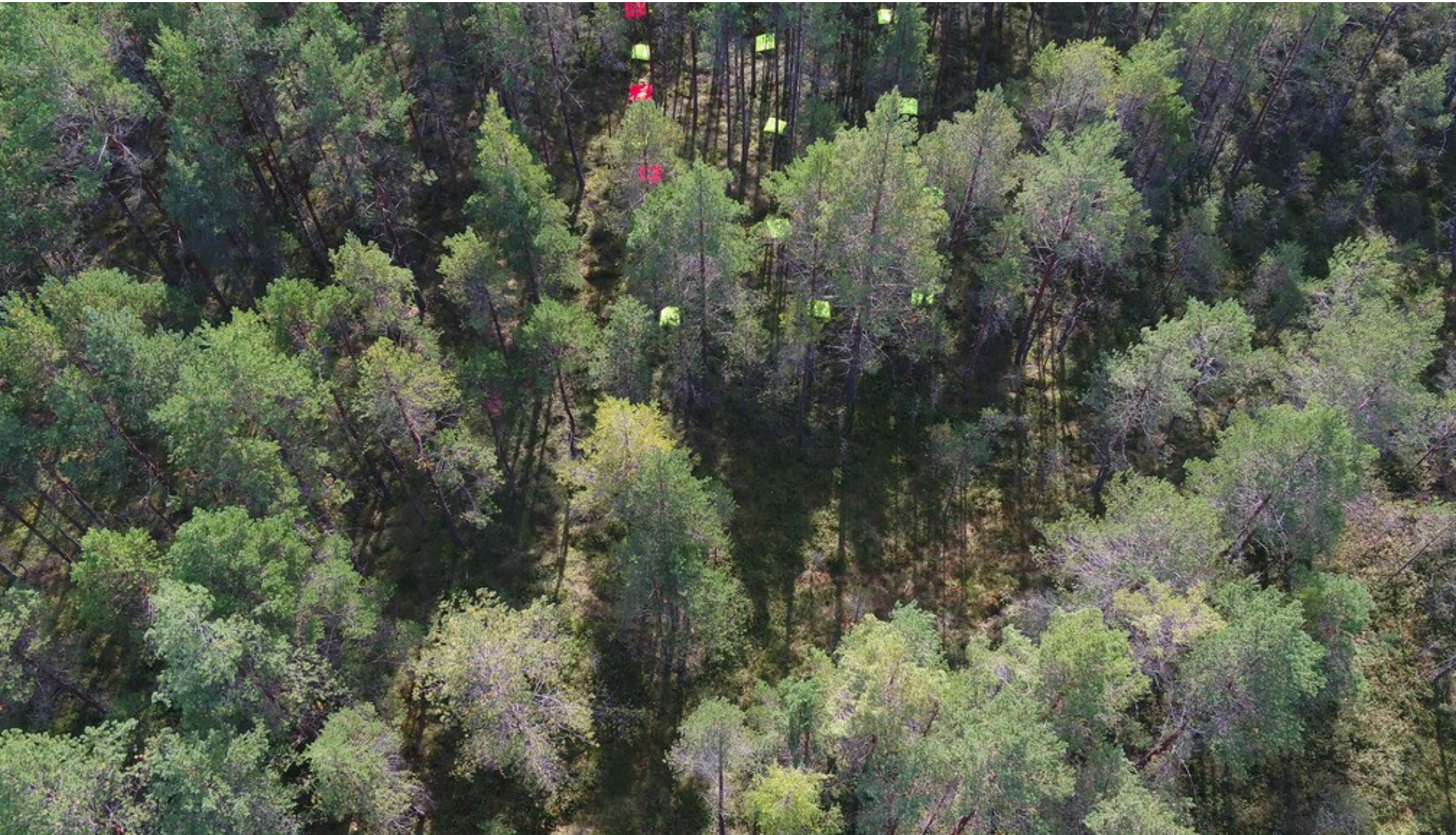
h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend h= 40 m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend h= 40 m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend  $h = 40$  m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend  $h = 40$  m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend  $h = 40$  m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend  $h = 40$  m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri



Ülelend  $h = 40$  m, nadiirnurk 30 kraadi



h40/40m-30\_N2S.kaadri

Ülelend h= 40 m, nadiirnurk 30 kraadi



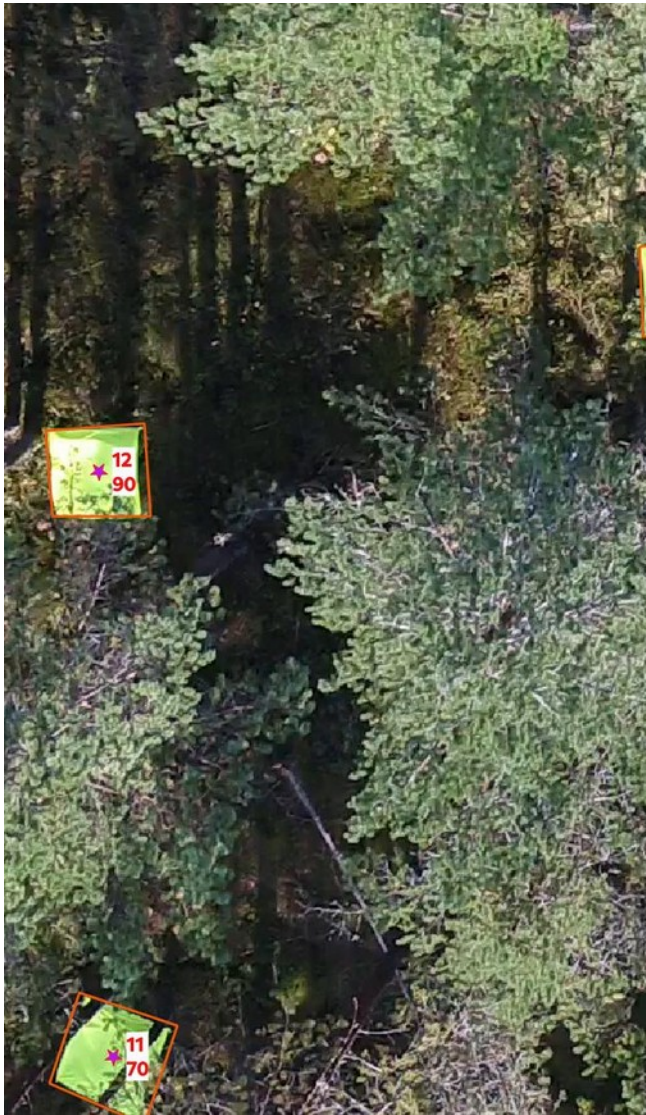
h40/40m-30\_N2S.kaadri

Kuidas seda kõike analüüsida?

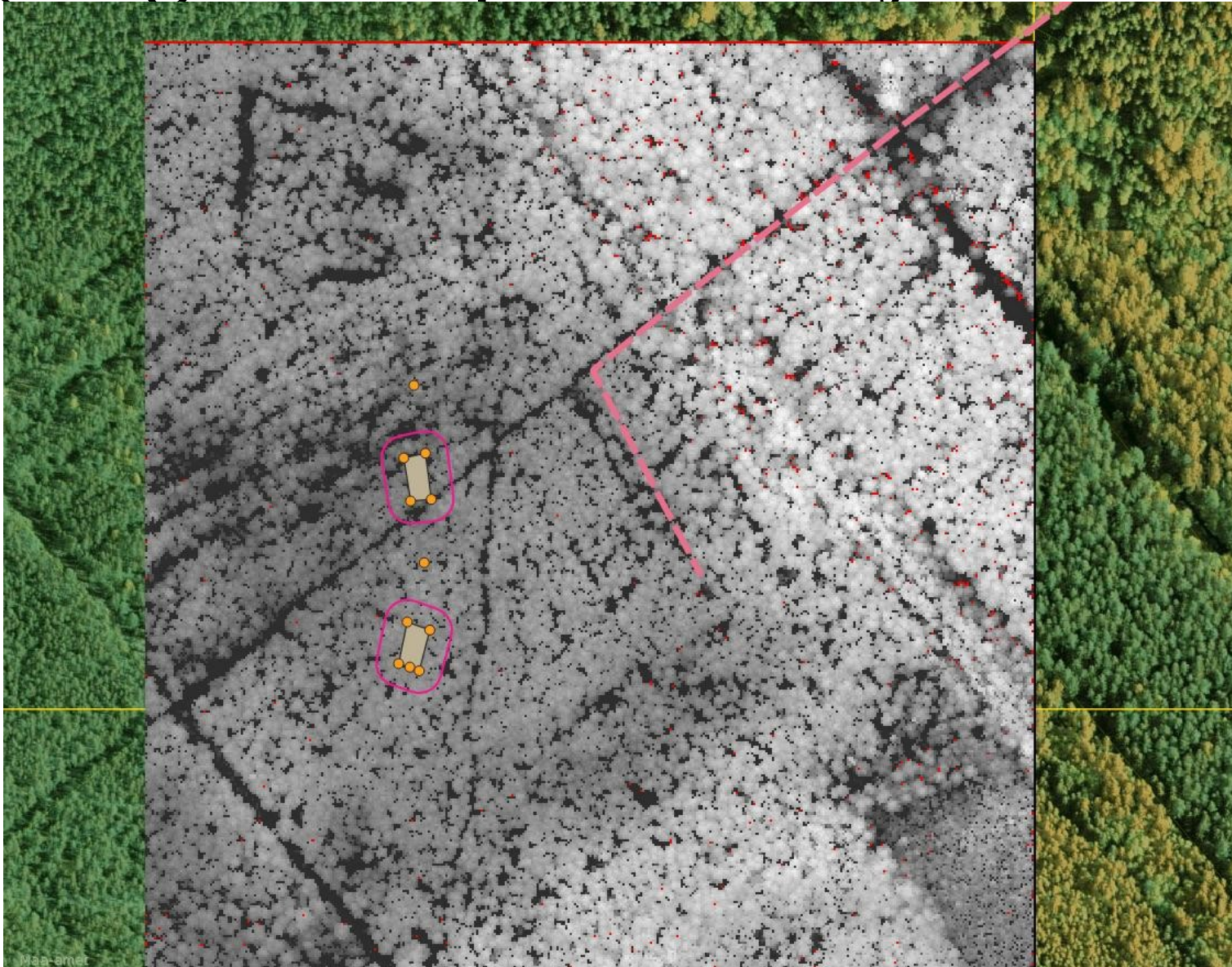
# Läbipaistvus ja vaatesuund fotodelt



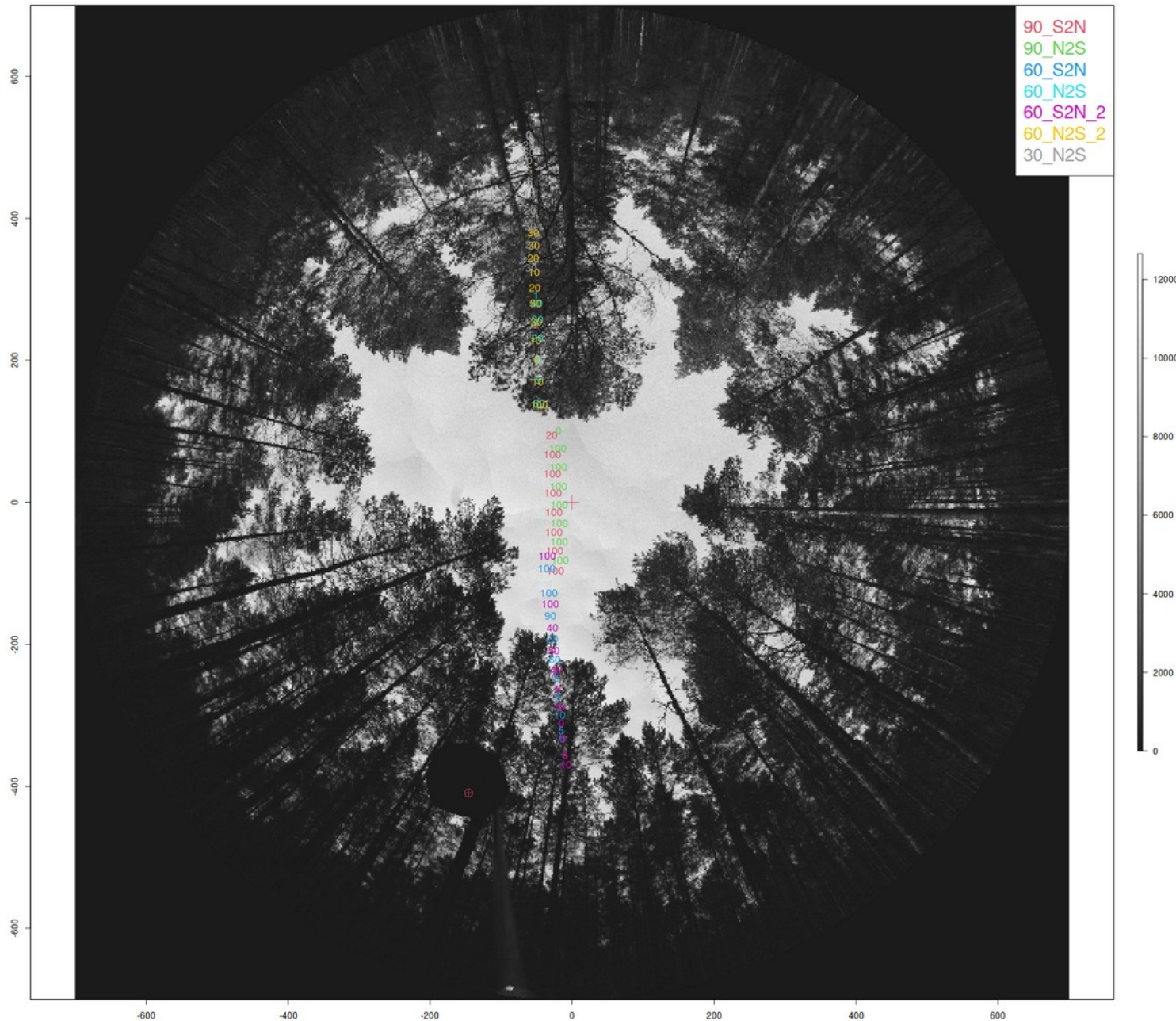
# Poolsfäärripilt iga katselapi kohal



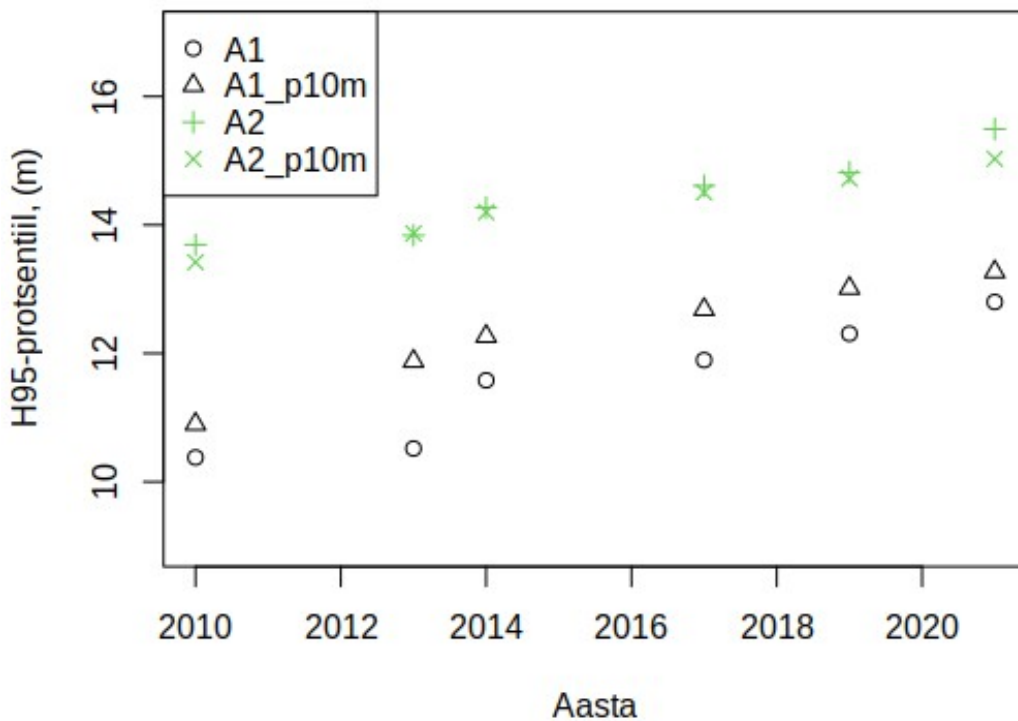
# Punktipilvedest meetrika (kõrguse 95-protsentiil ja katvus)



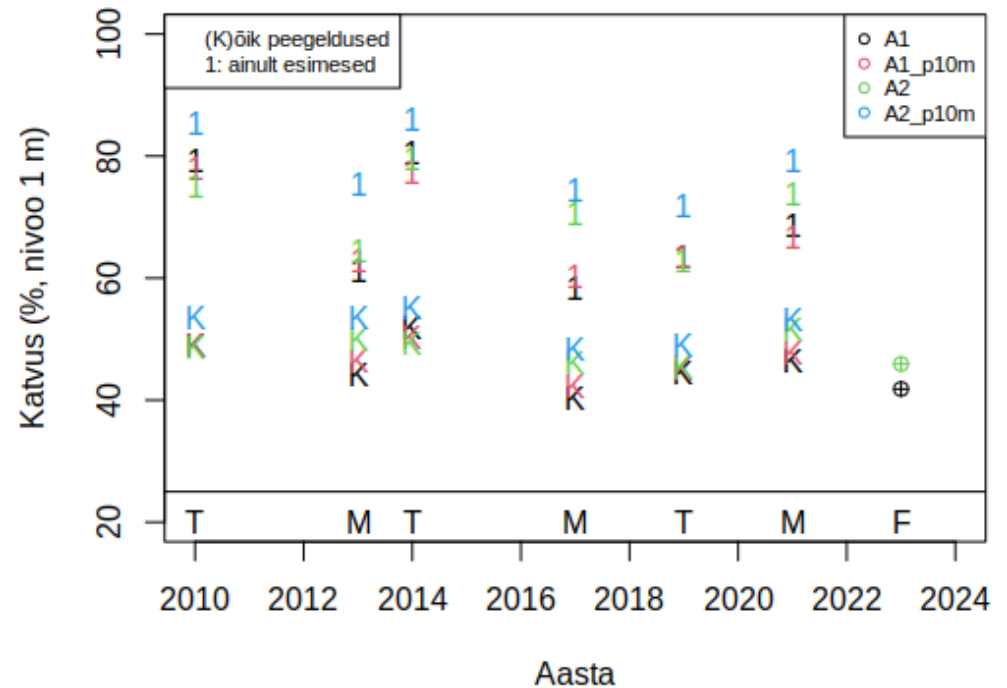
Andmed tuleb kokku panna koordinaatide järgi.  
Asukohamääramise täpsus ...



# Lidariandmetega on lihtne



Laserimpulsi peegelduste kõrgusjaotuse 95-protsentiiil kahele katsealale arvatud täpselt katseala piires ja 10 m laiendatud alas. Puistu tiheduse varieeruvus.



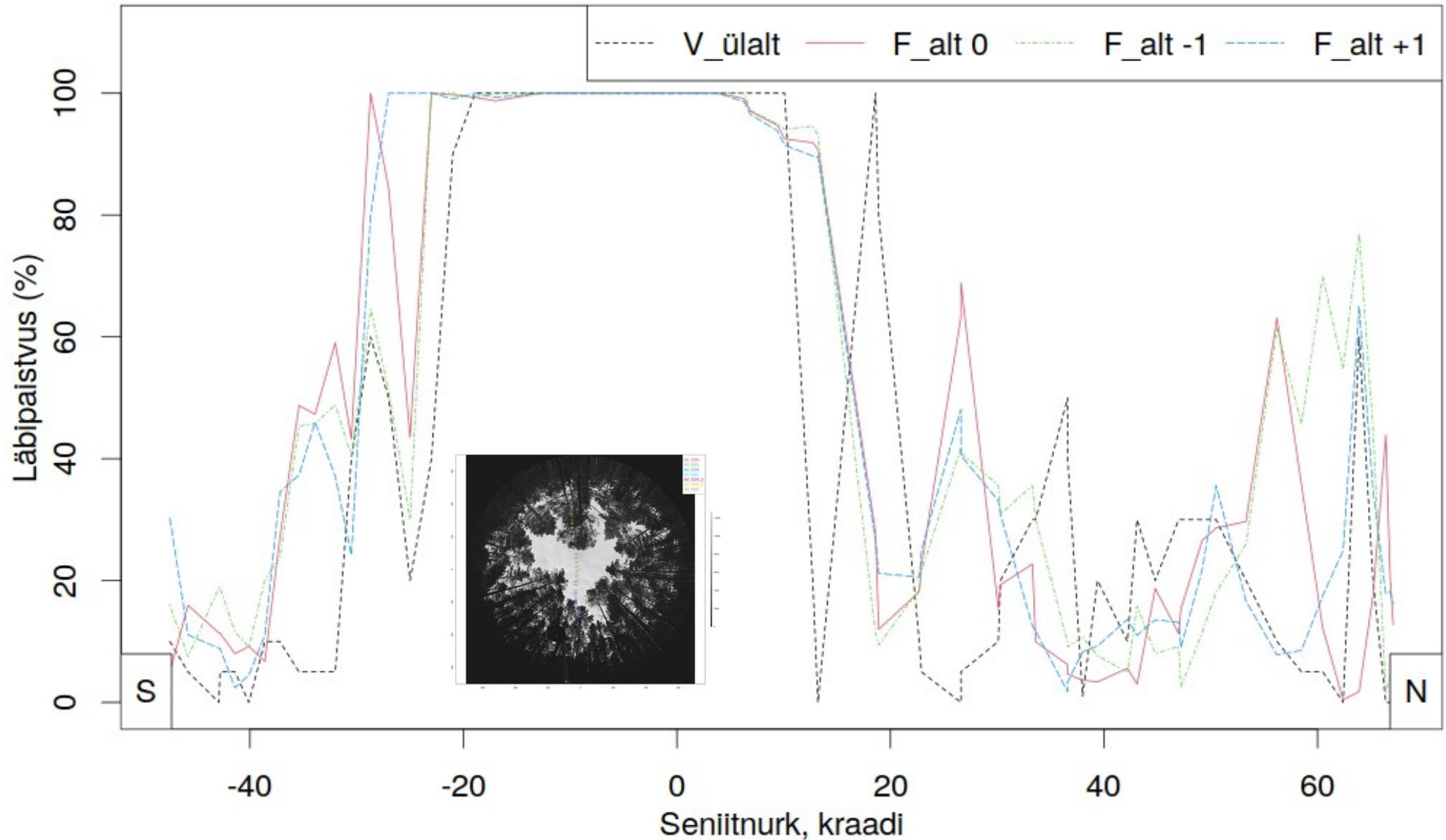
Kevadiste (T) ja suviste (M) lidariandmete järgi arvatud võrastiku katvus (href=1.0 m). „1” arvestab ainult esimeste peegeldustega, „K” võtab kõik arvesse.

„F” on poolsfääripiltidel 10-kraadises seniitnurgavahemikus arvatud katvus.



Üks katselapp.

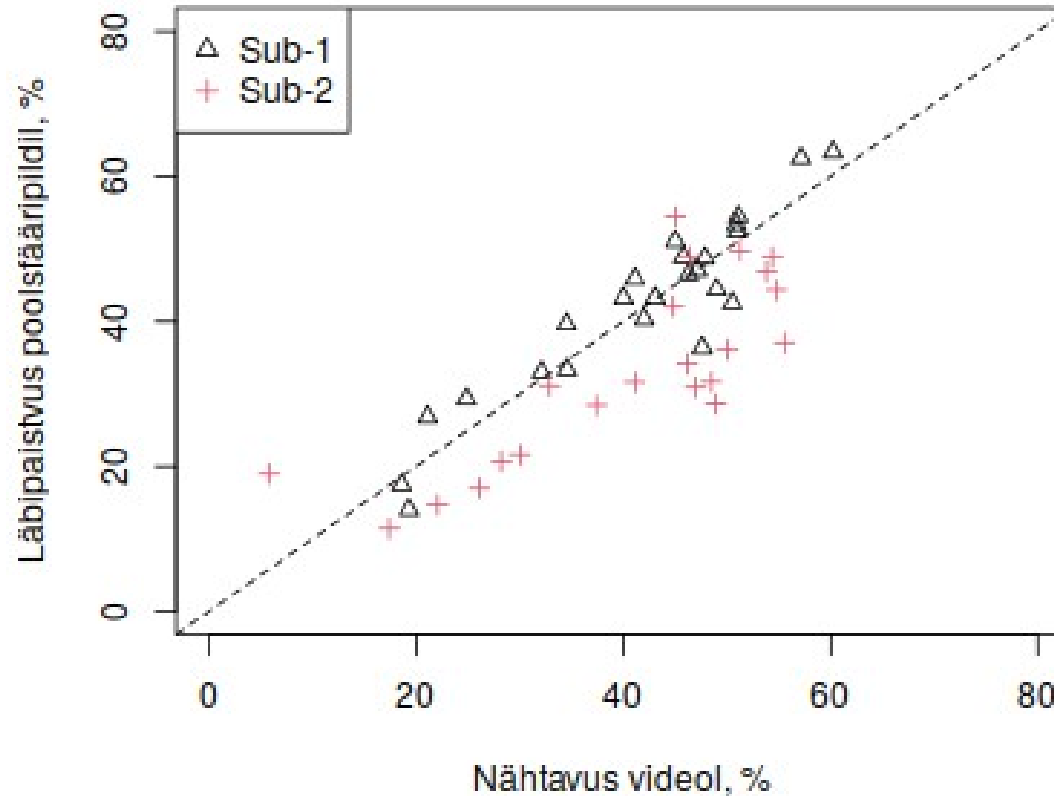
## Aerofotod ja poolsfääripildid



Erinevad mõõtmisgeomeetriad, suur asukohamääramise vigade mõju, aga seosed on ilmsed. F\* on fotolt tehtud väljavõtte arvutatud ja katseks nihutatud ülalt vaate koordinaatide järgi.

Fotodelt tuleb  
võtta 3-5 kraadi  
sektorid.

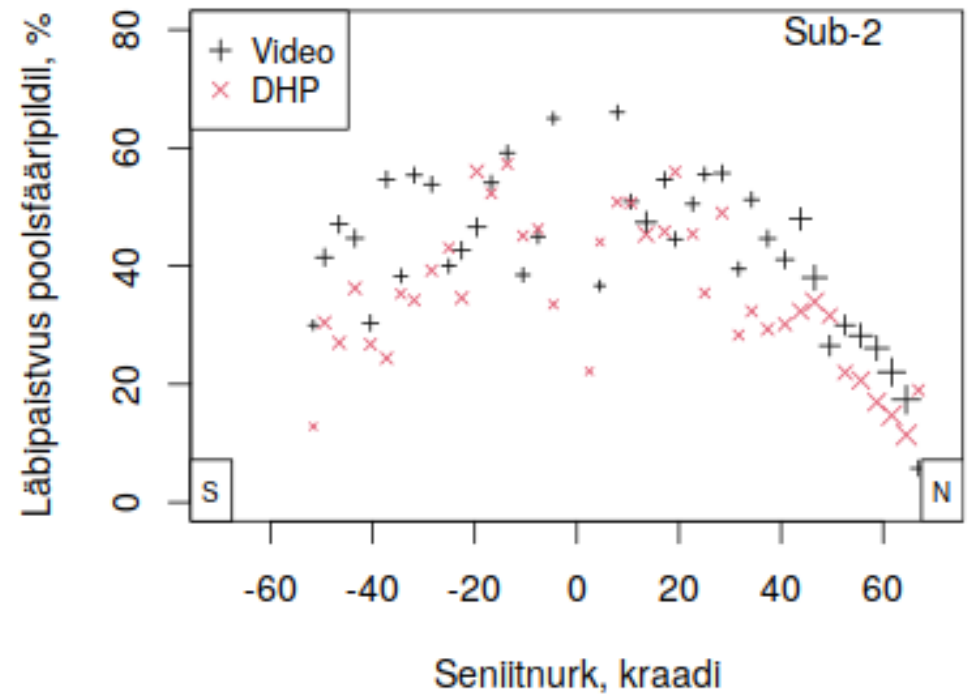
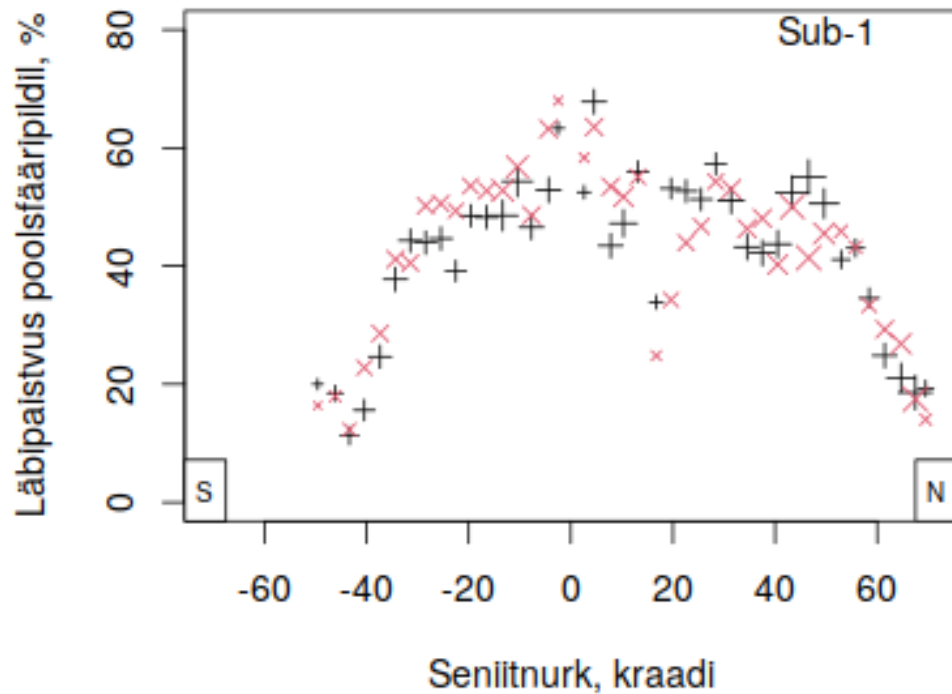
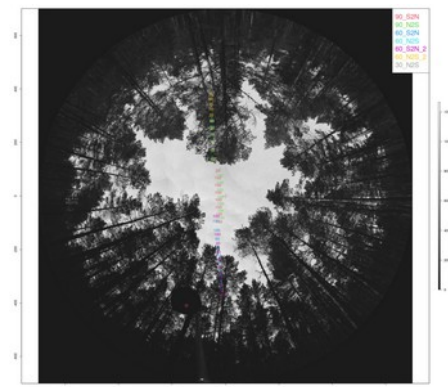
## Aerofotod ja poolsfääripildid



Vertikaalne (kuni 10 kraadi seniitnurk) läbipaistvus mõõtmiste keskmisena aerofotodelt ja poolsfääripiltidel. Iga punkt on katselapp.

# Aerofotod ja poolsfääripildid

Fotodelt tuleb võtta 3-5 kraadi sektoriid.



Iga punkt on kõikidelt katselapidelt arvatatud keskmine vaba vaate tõenäosus antud vaatesuunas. Katsealad on eraldi.

# Kokkuvõtteks

Droonikaamerate stabiliseerimise automaatika takistab kaamerate pildigeomeetria omaduste täpset mõõtmist.

Droonide asukohamäärangute vead tekitavad tuntavalt määramatust. Mõõtes 40-80 m kõrguselt 30-60 kraadi nadiirnurkade puhul saab ehk 3-5 kraadiste sektorite keskmisi nähtavusi kasutada.

Aerofotodelt saab kontrastsete objektide maapealsete kasutamisel visuaalselt üsna adekvaatse hinnangu võrastiku läbipaistvusele.

Poolsfääripiltidelt saab kõige täpsema läbipaistvuse väärtuse, aga ajakulu on suur.

Suurte alade jaoks sobivad pigem aerolidari punktipilved, mille meetrika arvutamise kriteeriumite leidmiseks saab kasutada poolsfääripilte ja madalalt tehtud aerofotosid.