



# **Kaardistamiseks vajaminevate algandmete tootmine: aerofotod, ortofotod, kõrgusmudelid**

FOTOGRAMM-MEETRIA OSAKOND

Mait Metsur

Jaanuar 2012



# Fotogramm-meetria osakond

## Ülesanded:

- Riigi territooriumi kaardistamise ja riiklike registrite loomist kindlustava ning riiklikke vajadusi rahuldava ja kvaliteedinõuetele vastavate fotogramm-meetriliste andmete tootmine ja haldamine;
- fotogramm-meetriliste andmete aktuaalsuse tagamine;
- üldsuse informeerimine ameti valduses olevatest fotogramm-meetrilistest digitaalandmetest.

## Tegevused:

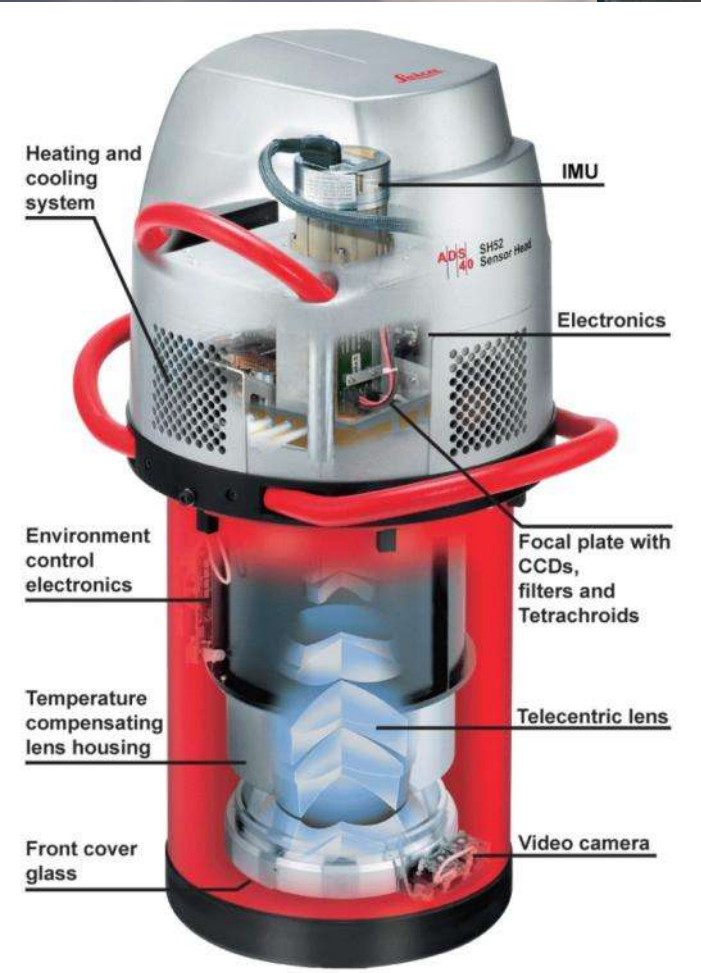
- aeropildistamise ja aerolaserskaneerimise korraldamine;
- aeropildistamise ja kõrgusandmete järeltöötamise teostamine;
- ortofotode ja kõrgusmudelite koostamine ja uuendamine;
- digitaalsete aeropildistusmaterjalide ja ortofotode archiveerimine;



## Tööks vajalik

Fotogramm-meetria osakonnas töötab hetkel 10 inimest.

- Aerofotode tegemisel kasutatakse digitaal-aerofotokaamerat [Leica ADS40-SH52](#).
- Kõrgusinfo kogumiseks kasutatakse laserskannerit [Leica ALS50-II](#).
- Seadmed on paigaldatud väikelennulike [Cessna Grand Caravan 208B](#).
- Aeropiltide fotogramm-meetriliseks töötluks on kasutusel 5 digitaalset stereotööjaama
- Tarkvaradest on kasutusel: FPES, FCMS, TracGUI, GPro, XPro, PosPac, GrafNav, IPAS, ORIMA, LPS, PRO600, Microstation, TerraSolid (Scan, Modeler, Photo, Match), ArcGIS, Stereo Analyst, Photoshop jne.



# AEROKAAMERA

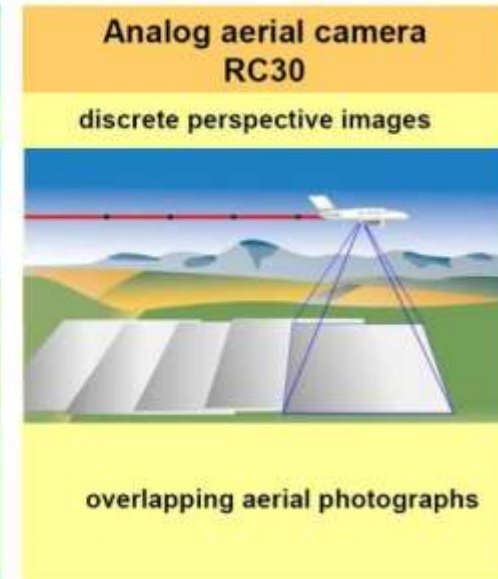
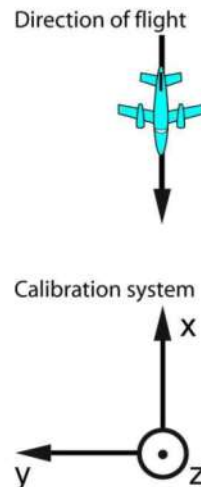
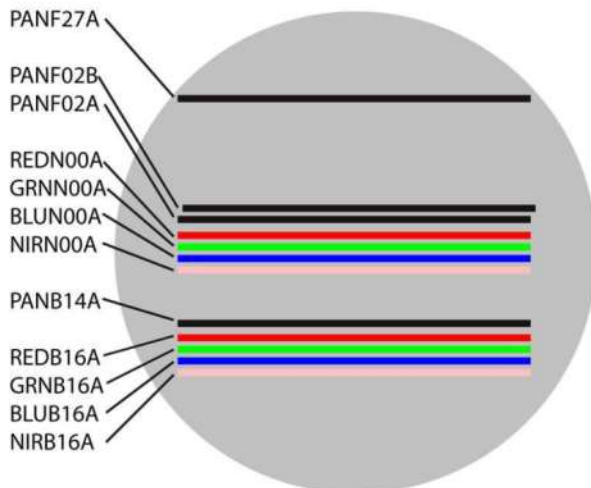
## LEICA ADS40-SH52 DIGITAALNE RIBAKAAMERA

### Sensorite andmed

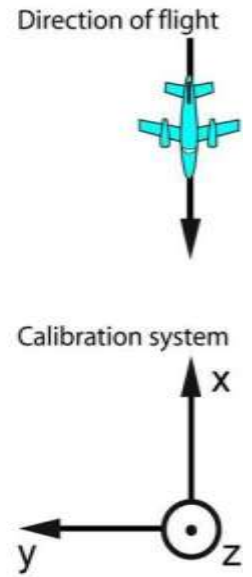
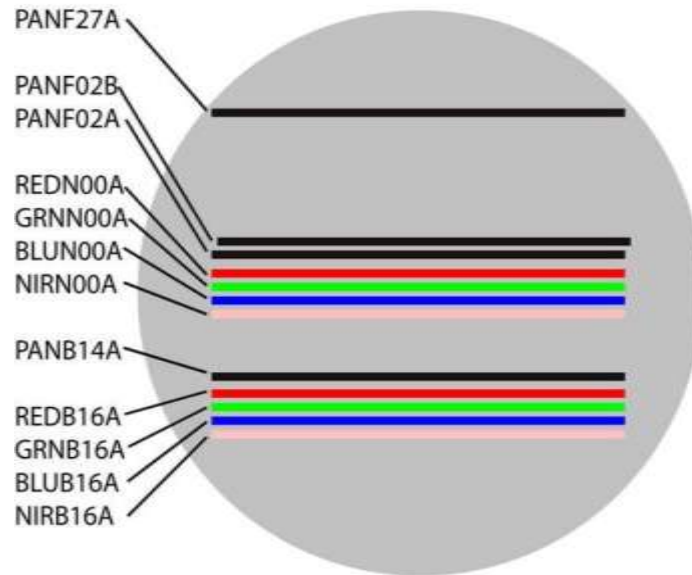
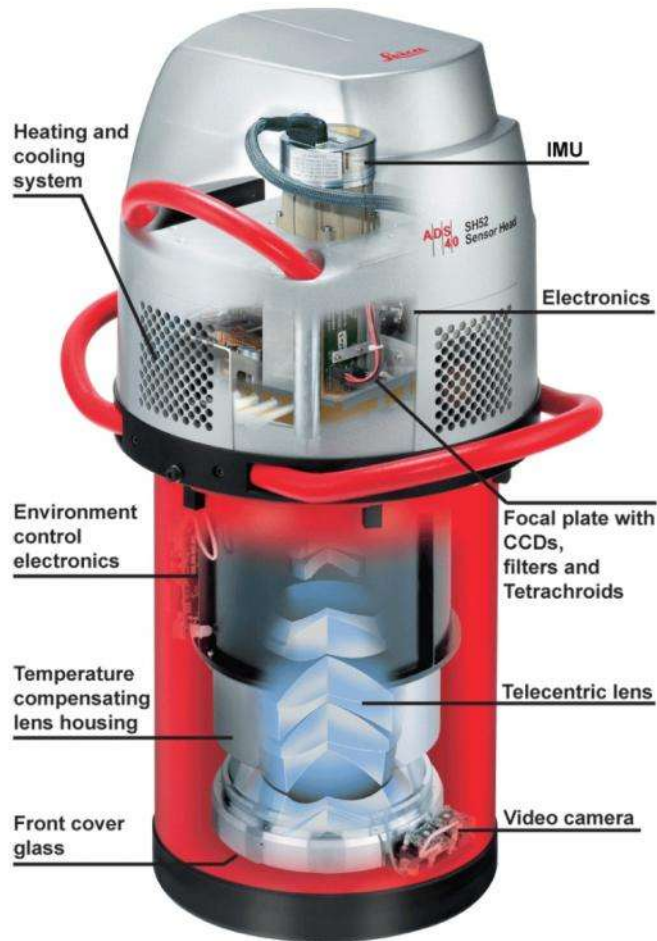
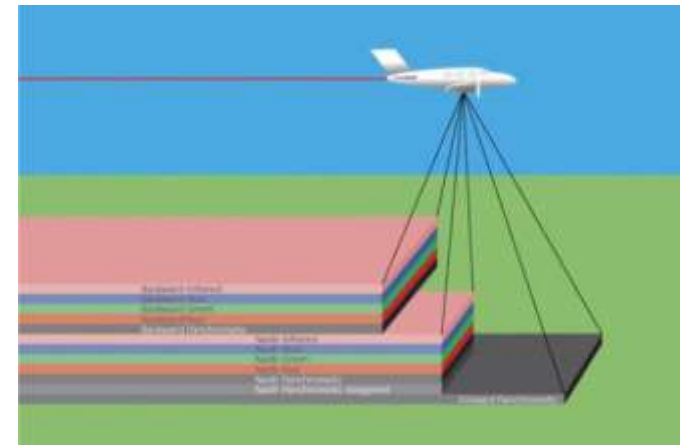
CCD: 12 CCD riba, igaüks 12000 pikslit lai, ühe piksli suurus  $6.5 \mu\text{m}$   
3 must-valge CCD riba (F27°, 2\*F02°, B14°)  
8 multispektraalset CCD riba: punane, roheline, sinine, lähiiinfrapunane -  
**RGBN** (N00°, B16° );

Tetracroid: optiline RGBN pikslite koossalvestamise seade (valguse lahutaja)

Objektiiv: teletsentriline objektiiv,  $f=62.7 \text{ mm}$   
vaateväli - FOV 64°



# ADS40-SH52



# LIDAR LEICA ALS50-II

Komponendid:

- 1) Juhtarvuti
- 2) Laseri plokk
- 3) Laserskanner
- 4) Operaatori ekraan
- 5) Piloodi ekraan
- 6) Piloodi ekraan 2
- 7) Kinnitusplaadid
- 8) Kaablid  
(puuduvad pildilt)

Kogukaal ca 100kg  
Vool: 28v kaitse:30A



## Laserskaneerimise tööpõhimõte

Laserskaneerimise meetod põhineb aja mõõtmisel, mis kulub laserimpulsil tee läbimiseks laserist maapinnani ja tagasi.

Määrates skaneerimise ajal lennuki positsiooni maapealse GPS-baasjaama suhtes kogu trajektoori vältel, saame lennuki täpse asukoha momendil, mil laserimpulss teele lähetati.

Teades täpselt lennuki hetkeasukohta (GPS), asendit (IMU), impulsi lähetusnurka, impulsi kestust ja atmosfääri andmeid on võimalik välja arvutada laserpunkti peegelduse asukoht maapinnal.

Laserskaneerimise kasutusalaudeks on suurte alade pinnamudelite koostamine, üleujutuste modelleerimine, metsamassiivide inventariseerimine, pinnavormide uurimine, kaardistamine, planeeringute koostamine, karjäärade ja teiste pinnamoodide mahuarvutused jne...





# LASERSKANNER (LIDAR)

## Leica ALS50-II

### Parameetrid

Laserkiire skaneerimismuster: sinusoidaalne (sik-sak)

Opereerimise kõrgus: 200 – 6000m maapinnast (AGL)

Maksimaalne peegli võnke sagedus: 90Hz

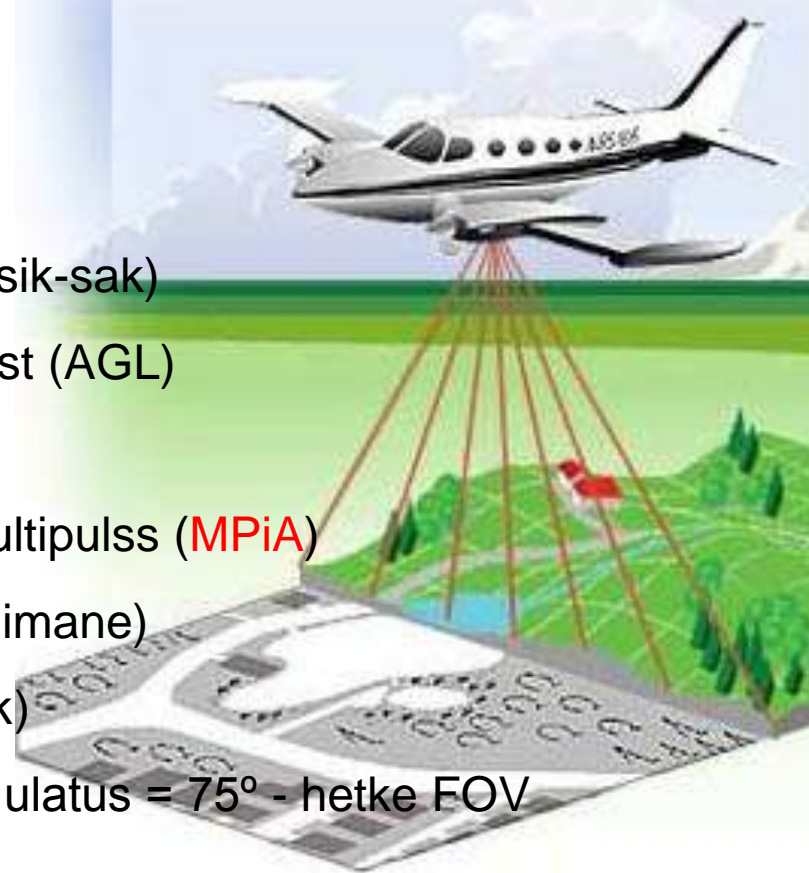
Maksimaalne impulsi sagedus: 20-150kHz, multipulss (MPiA)

Peegelduste arv: 4 (esimene, teine, kolmas, viimane)

Maksimaalne vaateväli - FOV: 0-75° (kogunurk)

Kalde stabilisatsioon: automaatselt kohanduv, ulatus = 75° - hetke FOV

Töötab olenemata valgustingimustest (öösel)

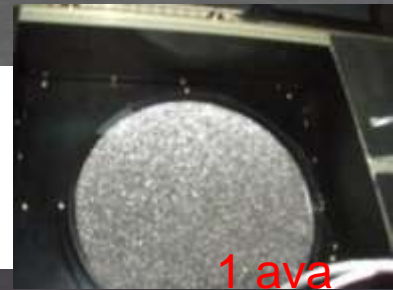


# CESSNA GRAND CARAVAN 208B



# ÜMBEREHITUS

- 1) Kaks kaameraava pörandas väljastpoolt kaetavad liugklappidega (elektriline ja mehaaniline liigutamine) esimesel optiline klaas.
- 2) Voolupistikud: 28v seadmetele 2x30A, 4x20A, 2x15A +220v tavapistik, 12v auto
- 3) Spetsiaalne GPS antenn seadmetele koos 4 kohalise jagajaga
- 4) Summutil heitgaaside kõrvaesuunaja





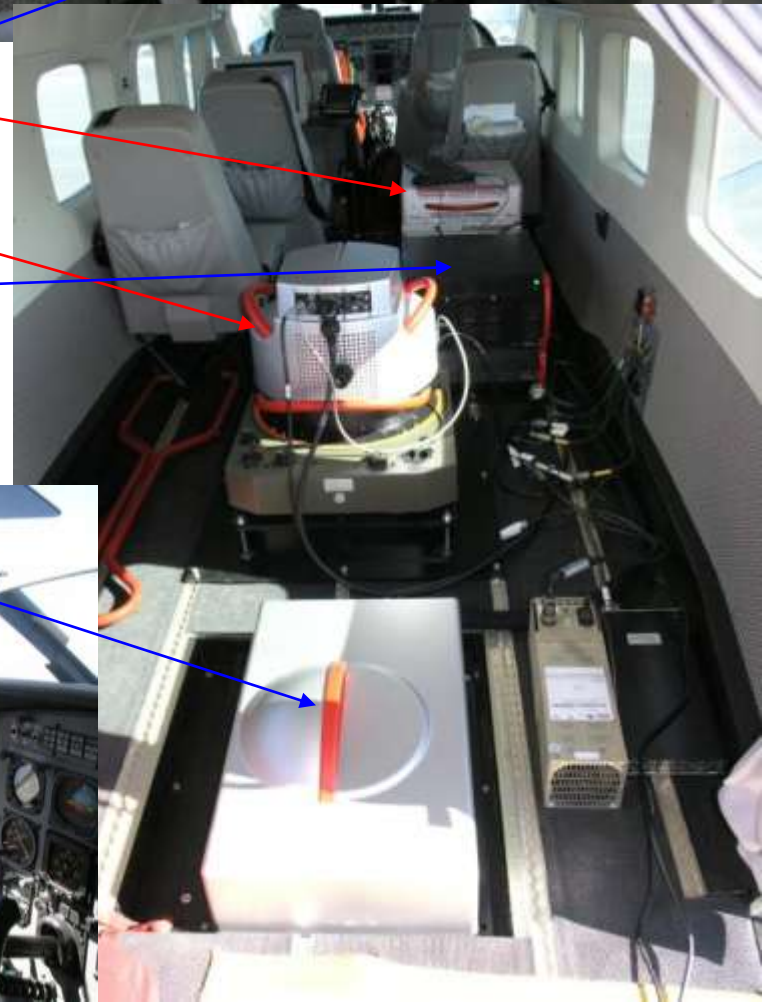
# APARATUURI INSTALLATSIION

## 1) Aerokaamera ADS40-SH52

- juhtekraan
- juhtarvuti
- sensor
- piloodi juhtekraan

## 2) Laserskanner ALS50-II

- juhtekraan
- juhtarvuti
- sensor
- piloodi juhtekraan



## TEHNILISED NÄITAJAD

### Lennuk- Cessna Grand Caravan 208B tunnus ES-MAA

#### Üldised näitajad

Meeskond: 1-2 (sertifitseeritud 1 piloodiga lendamiseks)

Istmeid: 11 (koos pilootide istmetega)

Tualett

Pikkus: 12.7 m

Tiivaulatus: 15.9 m

Kõrgus: 4.5 m

Tühikaal: 1944 kg

Max stardikaal: 3969 kg

Max kandevõime: 2041 kg

Mootor: 1× Pratt & Whitney  
Canada PT6A-114A  
McCauley, 675 hp  
(turbopropeller)

#### Jõudlus

Reisikiirus (10,000 ft): 341 km/h

Varisemiskiirus: 113 km/h

Lennuulatus: 1680 km

lennulagi: 7224 m

Keskmine kütusekulu: 170l/h

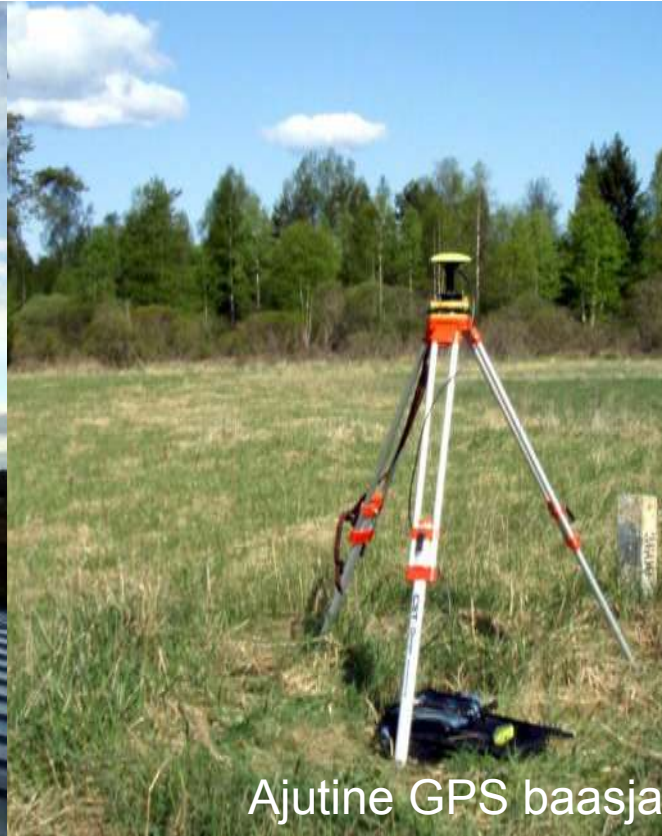
Lennuaeg seirelendudel: 100 kts ca 6h, 160 kts ca 5h (+45 min varu)

# BAASJAAMAD

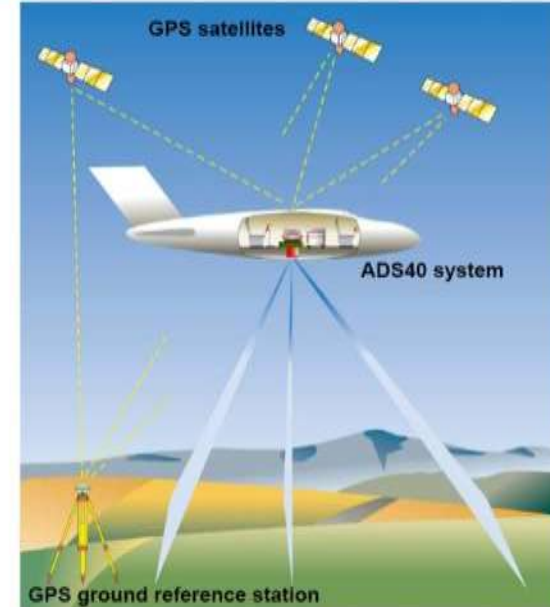
- satelliitide salvestamise sagedus 2Hz
- Pildistamisala kaugus < 50 km GPS jaamast



GNSS püsijaam (Audru)



Ajutine GPS baasjaam



Maa-ameti püsijaamad: Audru, Kuressaare, Suurupi, Toila, Tõravere, Kärkla, Mustvee, Võru, Tallinn



# Tööde etapid

- **LENNU PROJEKTEERIMINE**
- **MARKEERIMINE**
- **PILDISTAMINE JA LASERSKANEERIMINE**
- **AEROTRIANGULATSIOON (PILTIDE ORIENTEERIMINE)**
- **ORTOFOTOD**
- **LIDARANDMED**
- **STEREOKAARDISTAMINE**

# LENNU PROJEKTEERIMINE

- Piirkond- PÄRNU LINN
- Tegemist on tiheasustusalaga, mis eeldab suuremat pildi eraldusvõimet, mida iseloomustab pildi piksli suurus. 15 cm on piksli suurus, mis hetkel olemasolevat aparatuuri kasutades on sellistel aladel kõige optimaalsem.
- Aeropildistamisel kasutatakse kolme erinevat pikslisuurust:

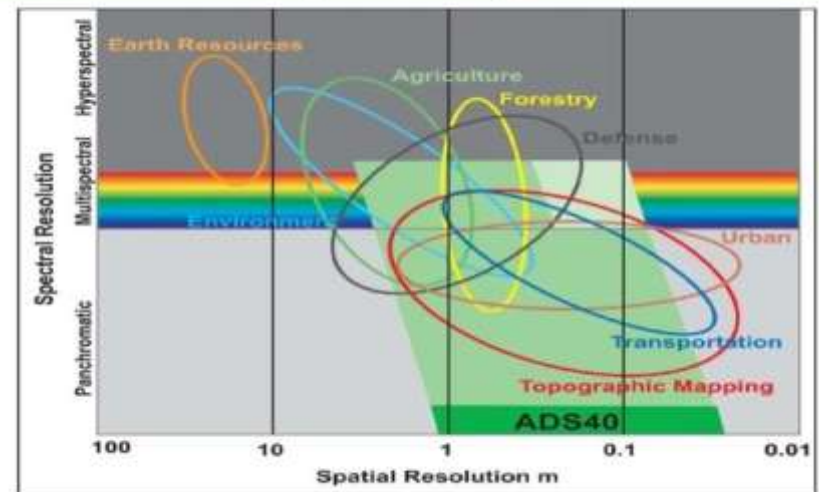
10-15 cm linnad

25 cm hajaasustusalad

40 cm metsanduslikud ja  
põllumajanduslikud alad

Loomulikult mida kõrgemal lendab lennuk, seda laiemat ala saab ühe lennuribaga katta.

## ADS40 kasutusala





# Markeerimine ja punktide mõõdistamine



# MARKEERIMINE

Aerotriangulatsiooni edukaks teostamiseks markeeritakse geodeetilise põhivõrgu punkte, et siduda aerofotod plaaniliselt ja kõrguslikult maapinnaga.

Aerotriangulatsiooni lähtepunktid tähistatakse (markeeritakse) looduses kasutades valget kilet.

Kile kuju ja mõõtmed valitakse vastavalt pildi piksli (GSD- Ground Sample Distance) väärtusele. Kõrge lennu tarvis kasutame kujundina risti ja madallennu tarvis ruutu.

Kiled kinnitatakse puupulkadega või ka erijuhtudel kividega, igale kilele mõõdetakse tema kõrgus – punkti tsentrist kile tasapinnani.

Markeeritavate punktide valikul tuleb silmas pidada, et punktid asuks avatud maastikul. Samas tuleb arvestada alati kilede võimalikku hävimist – tee äärte niitmine, „maamõõtjad”, kulupõletamine jne.

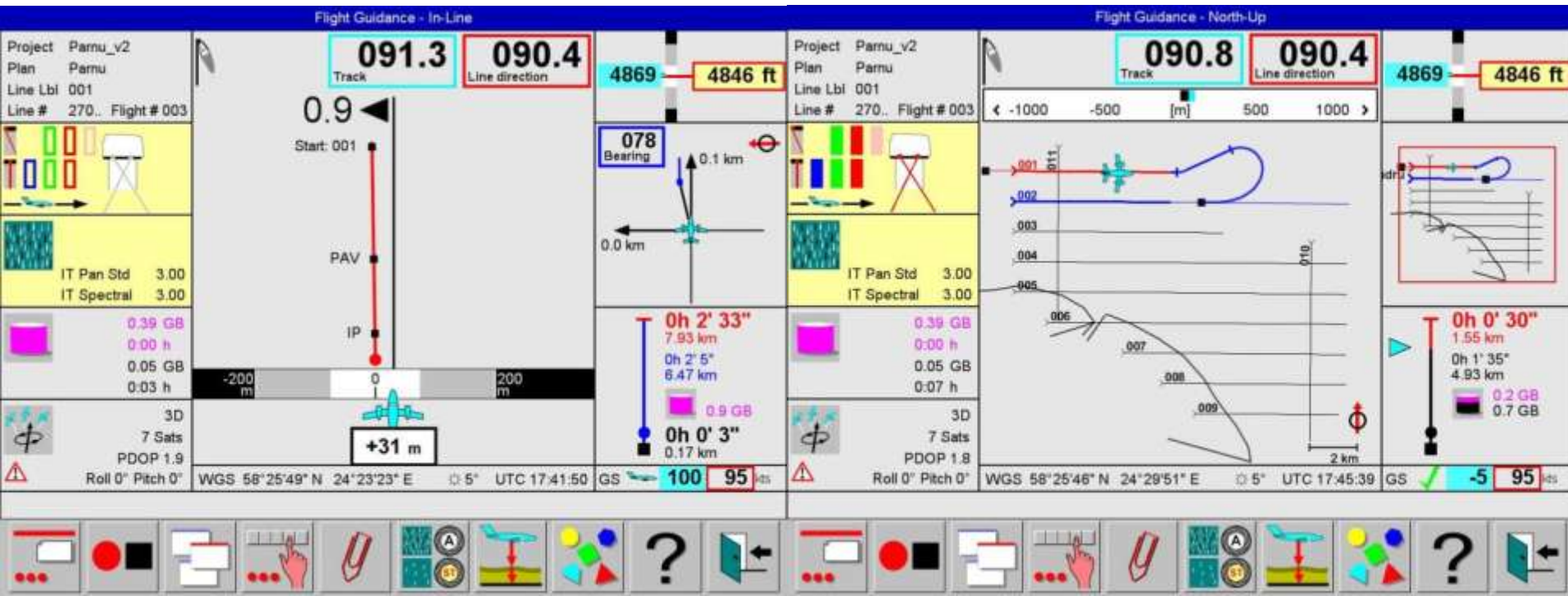
Markeeritakse lennatava objekti nurki, servi ja teisi triangulatsiooni edukaks läbiviimiseks iseloomulikke kohti.

# MARKEERIMISE PROJEKT

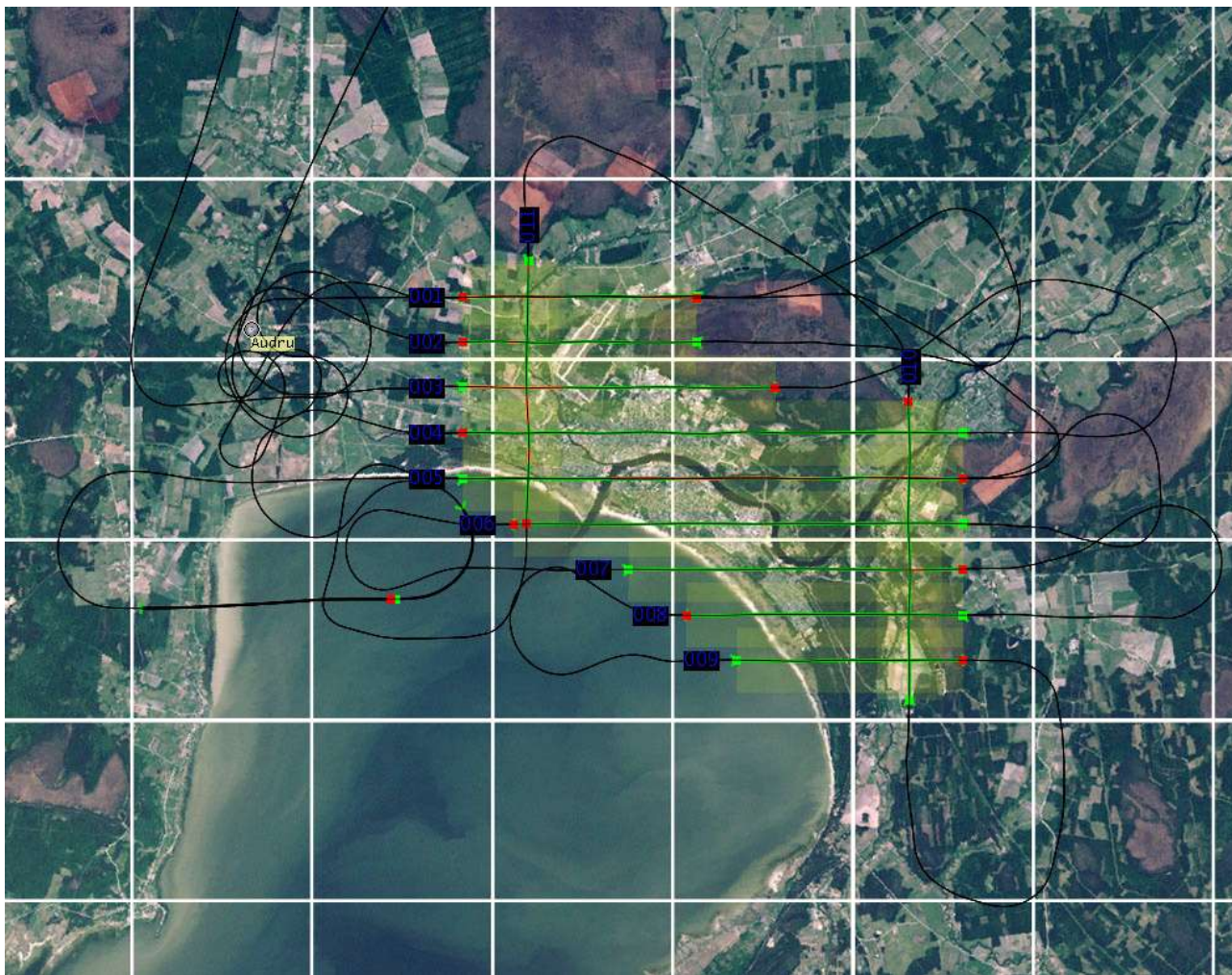


# ANDMETE KOGUMINE LENNUKILT

Lennu ajal kasutavad aerokaamera ja LIDAR tarkvara FCMS, kuhu laetakse maapeal ettevalmistatud lennuprojektid. Tarkvara näitab lennuki asukohta, lennuribasid, sobivat trajektoori, vajalikku kõrgust, kiirust, valgustuse seisu, kontrollib projektist kinnipidamist, näitab ideaali suhtes kõrvalekaldeid, satelliitide seisu, mälumahtu jne.

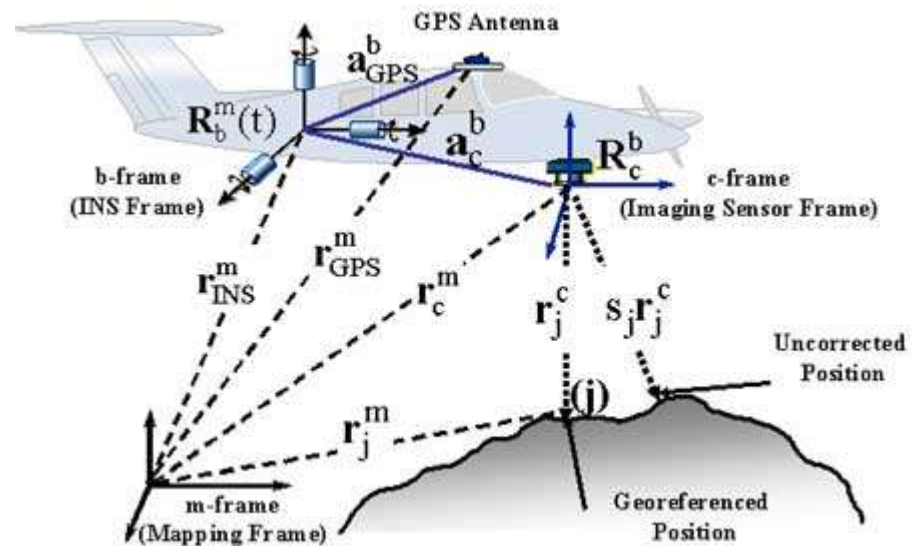


# Lendamine



# AEROTRIANGULATSIOON

Aerotriangulatsioon on maapinnal asuvate kõrguslike ja plaaniliste kindelpunktide abil ülekattuvusega aerofotode transformeerimine kindlasse süsteemi (fotomoonutuste kõrvaldamine) nurkade ja kauguste mõõtmise abil, kasutades fotograafilise perspektiivi printsiipe.

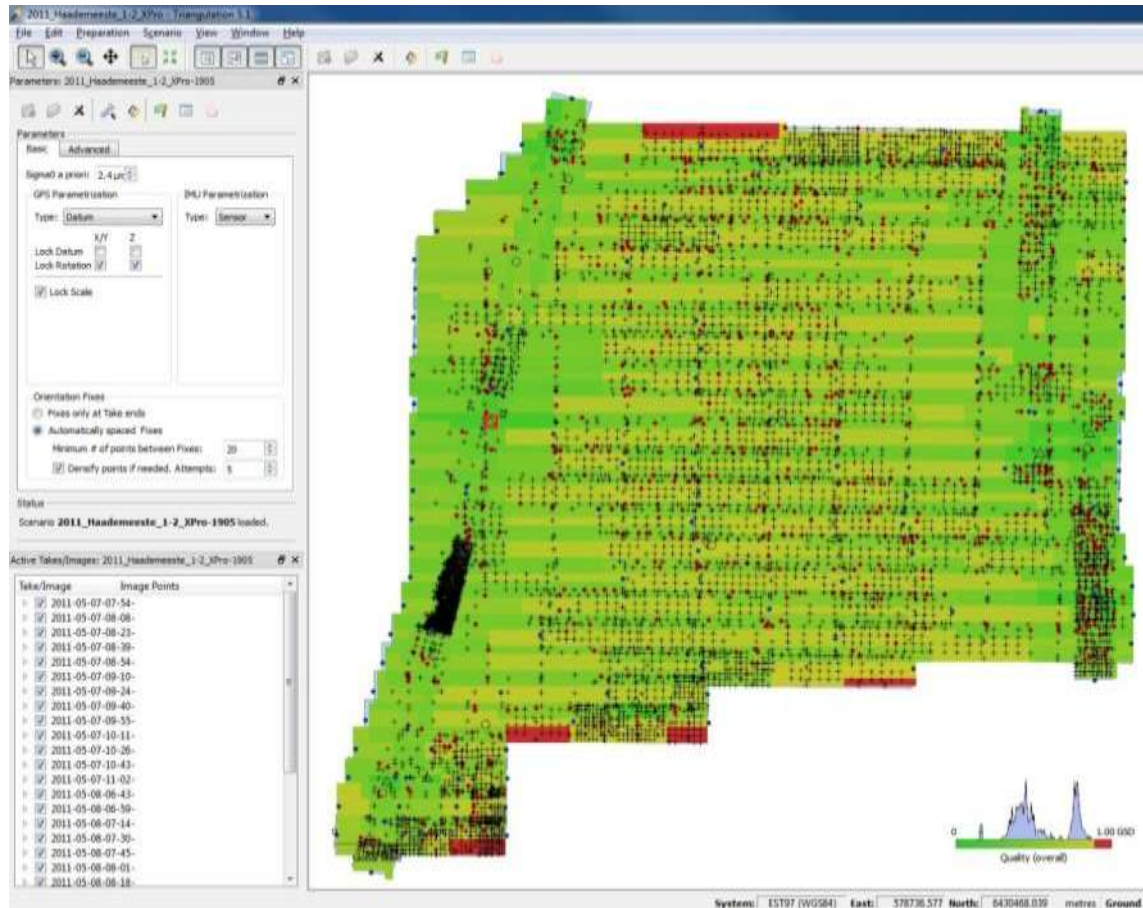


# AEROTRIANGULATSIOON

Väga heaks triangulatsiooniks võib lugeda plaanilist täpsust (X, Y) 0,5 GSD ja kõrguslikku täpsust (Z) 1x GSD



Kontrollpunkti mõõtmine



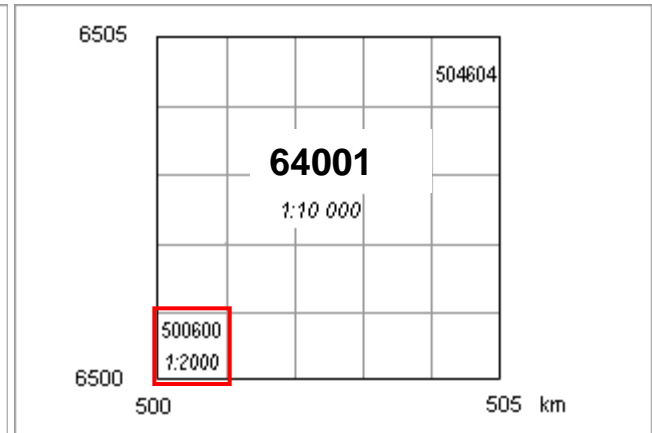
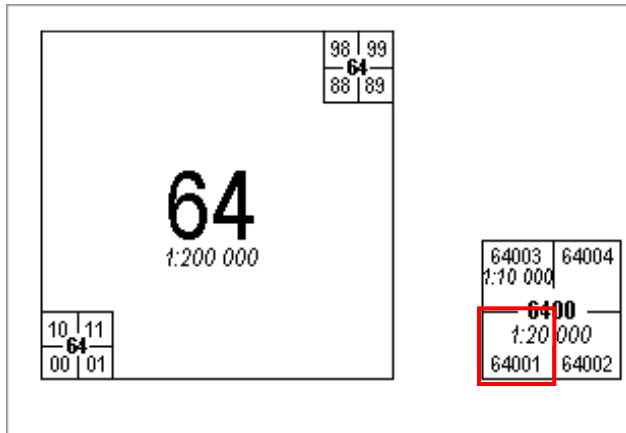
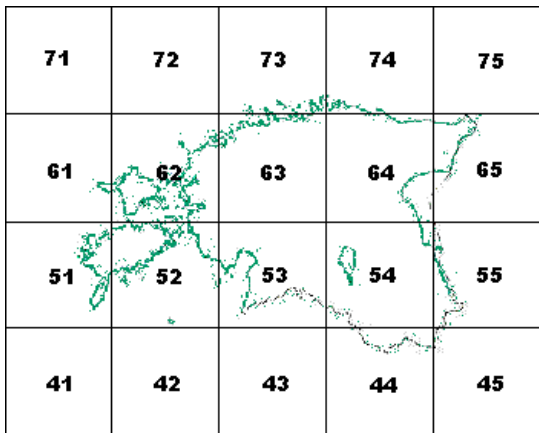
Leica XPro triangulation



# ORTOFOTO mõiste

Ortofoto on töödeldud aerofoto, millelt on kõrvaldatud moonutused, mis tekivad maapinna reljeefist, kaamera kaldest maapinna suhtes pildistamise hetkel ja kaamera tsentraalprojektsioonist. Digitaalsel ortofotol on kindel piksli suurus ehk resolutsioon, mis näitab väikseima jagamatu ülesvõetava ala suurust maapinnal.

Ortofotode valmistamise eelduseks on kõrgusmudel (DTM). Aerofotode ja kõrgusmudeli liites saame kindla piksli suurusega ortofotod, mis on vaja ühe terviku saamiseks omavahel kokku mosaiikida, ühtlustada ja lõigata kaardilehtedeks.



Kaardilehtede nomenklatuur

1:10 000 kaardileht

1: 2000 kaardileht

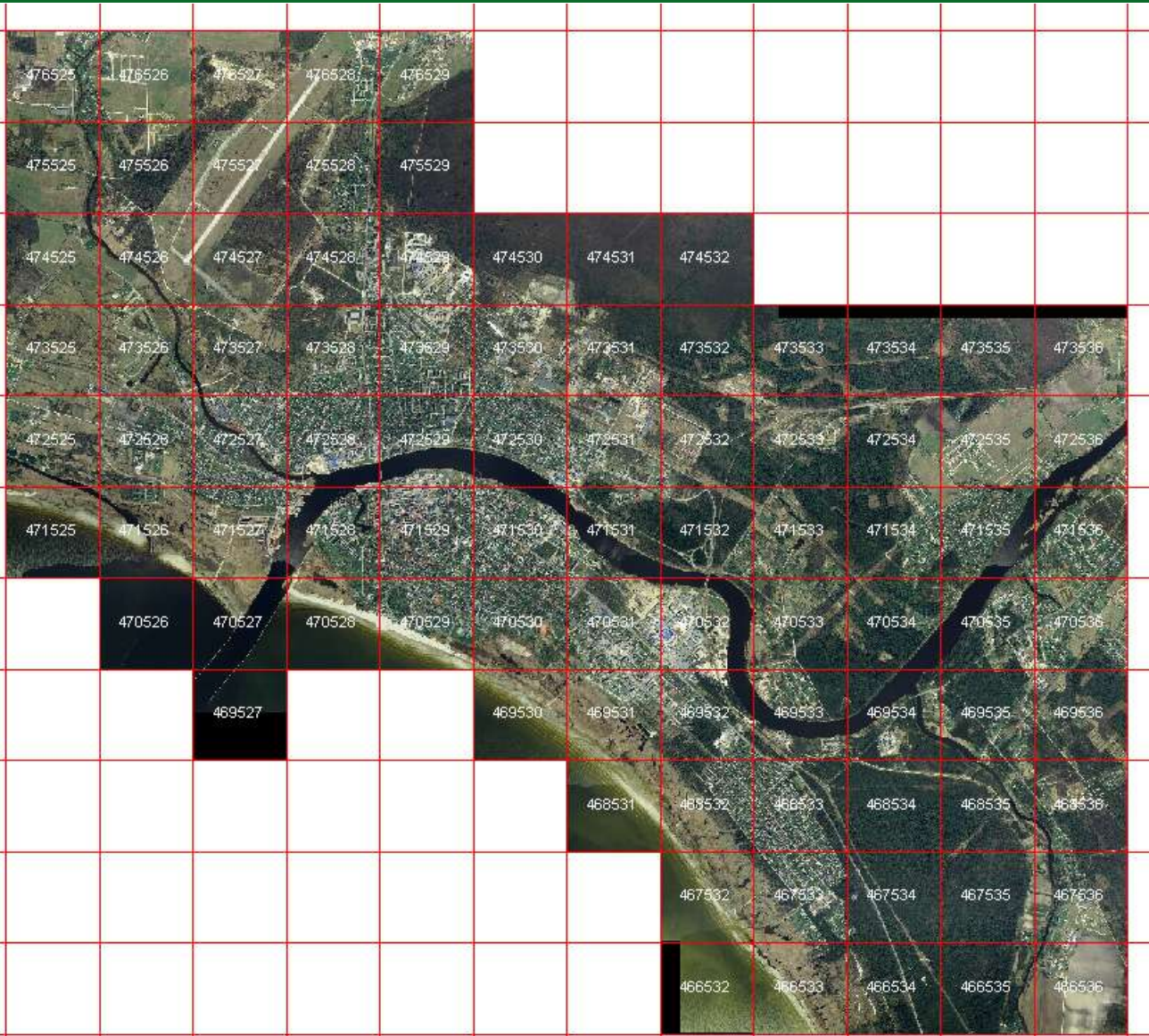


# ORTOFOTODE MOSAIKIMINE

Ortofotoribade omavaheline mosaiikimine toimub esimeses etapis automaatselt ja teises etapis parandatakse vastavalt vajadusele vigaseid kohti käsitsi, kuna automaatsed mosaiikimise programmid pole veel nii arenenud, et tulemus oleks kõiki rahuldav.



# ORTOFOTO



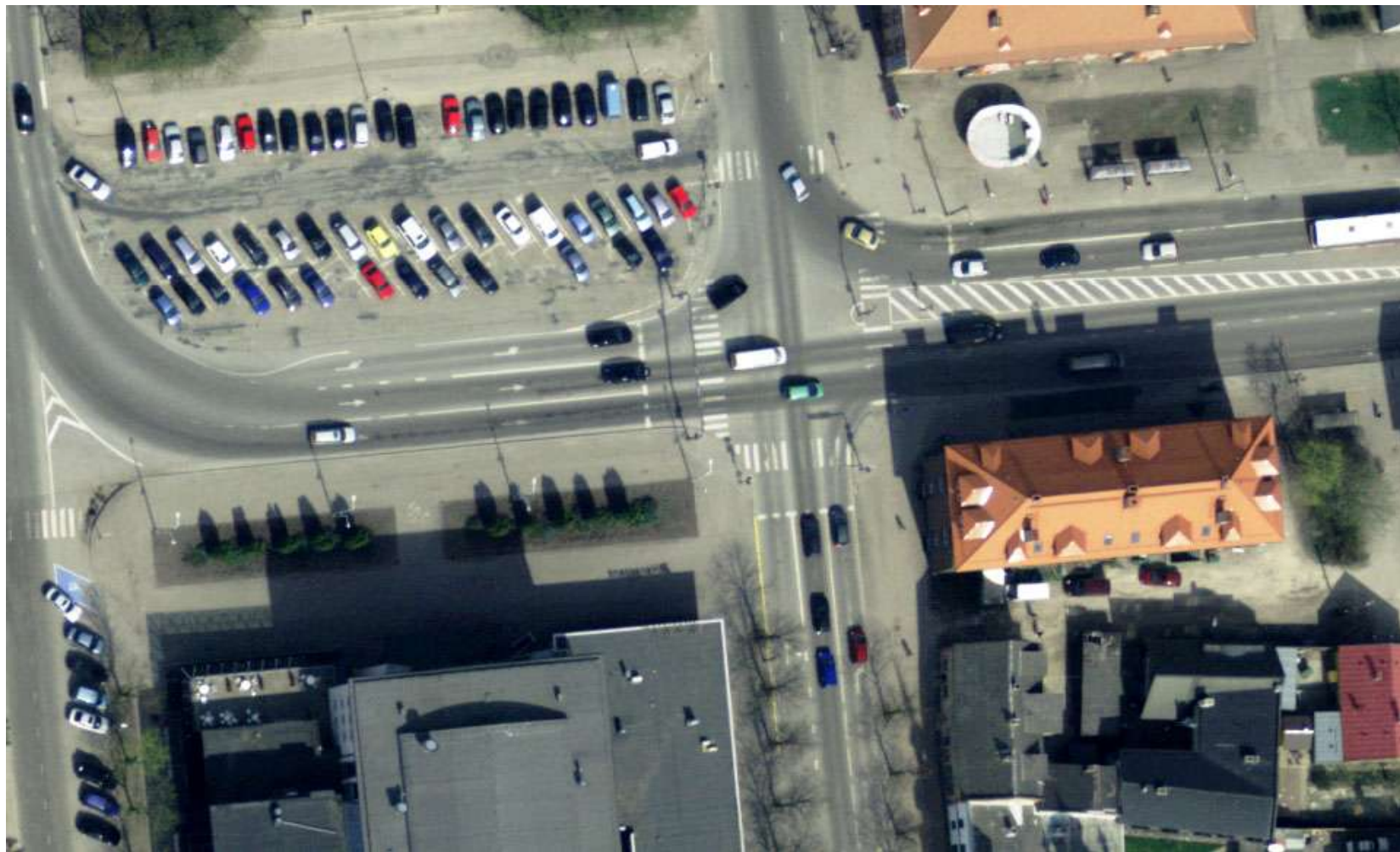
Pärnu linna lõplikud  
1: 2000 ortofotod  
16 cm GSD

Tehtud on pildiribade  
omavaheline  
ühtlustamine.

Faili formaadid:

GeoTiff  
ecw

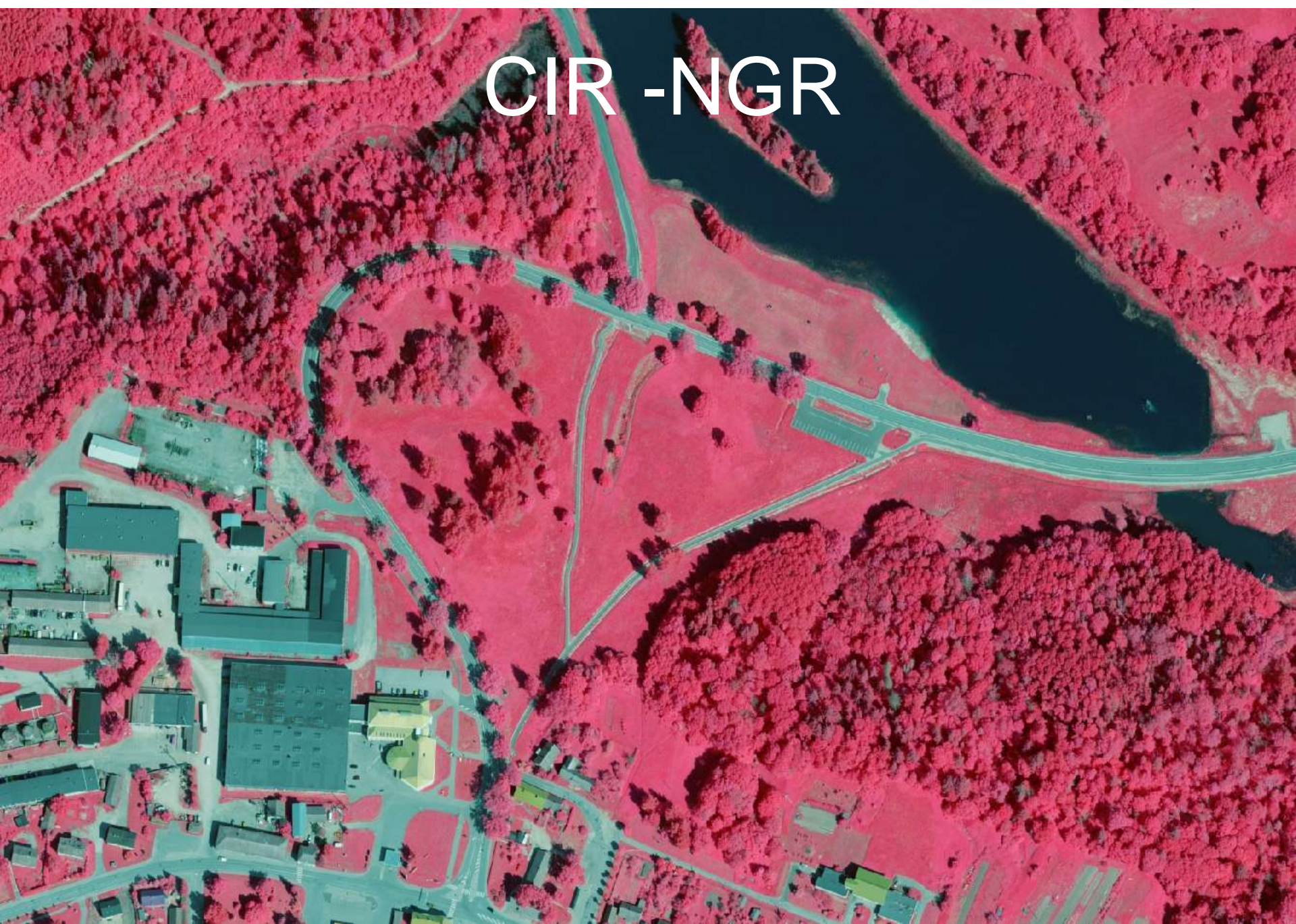
Ortofoto Pärnu 2008 piksel 16cm



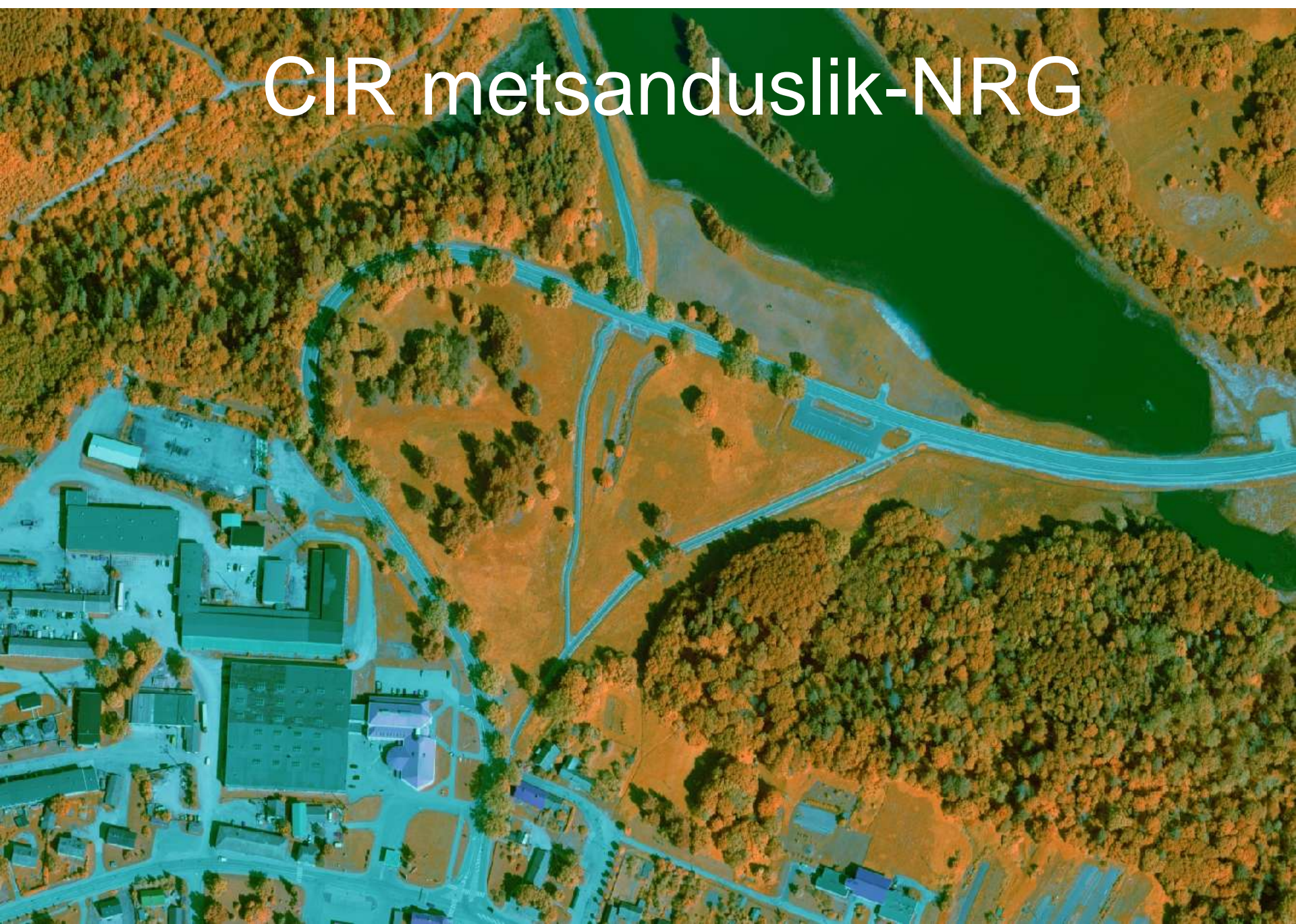
RGB



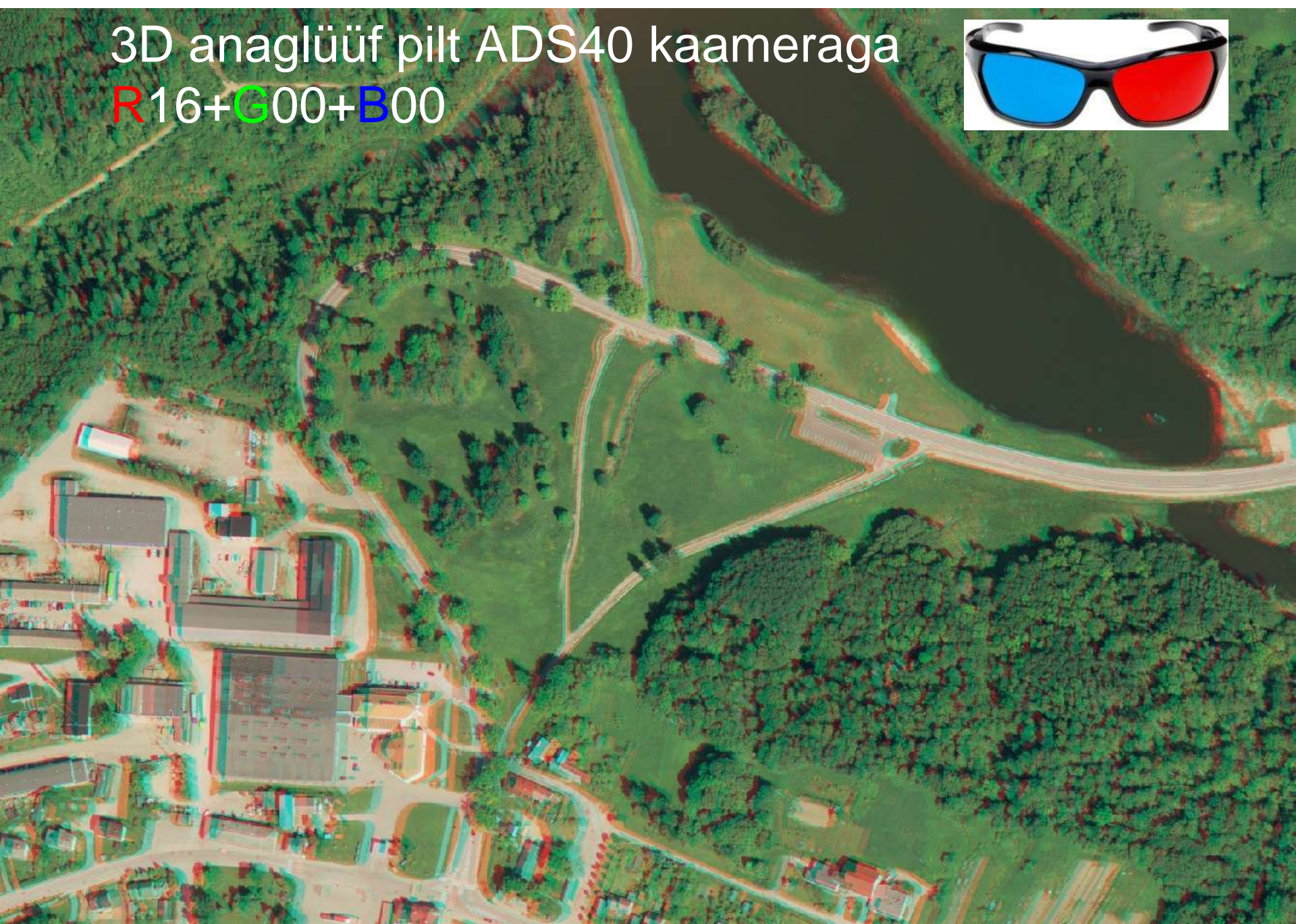
# CIR -NGR



# CIR metsanduslik-NRG



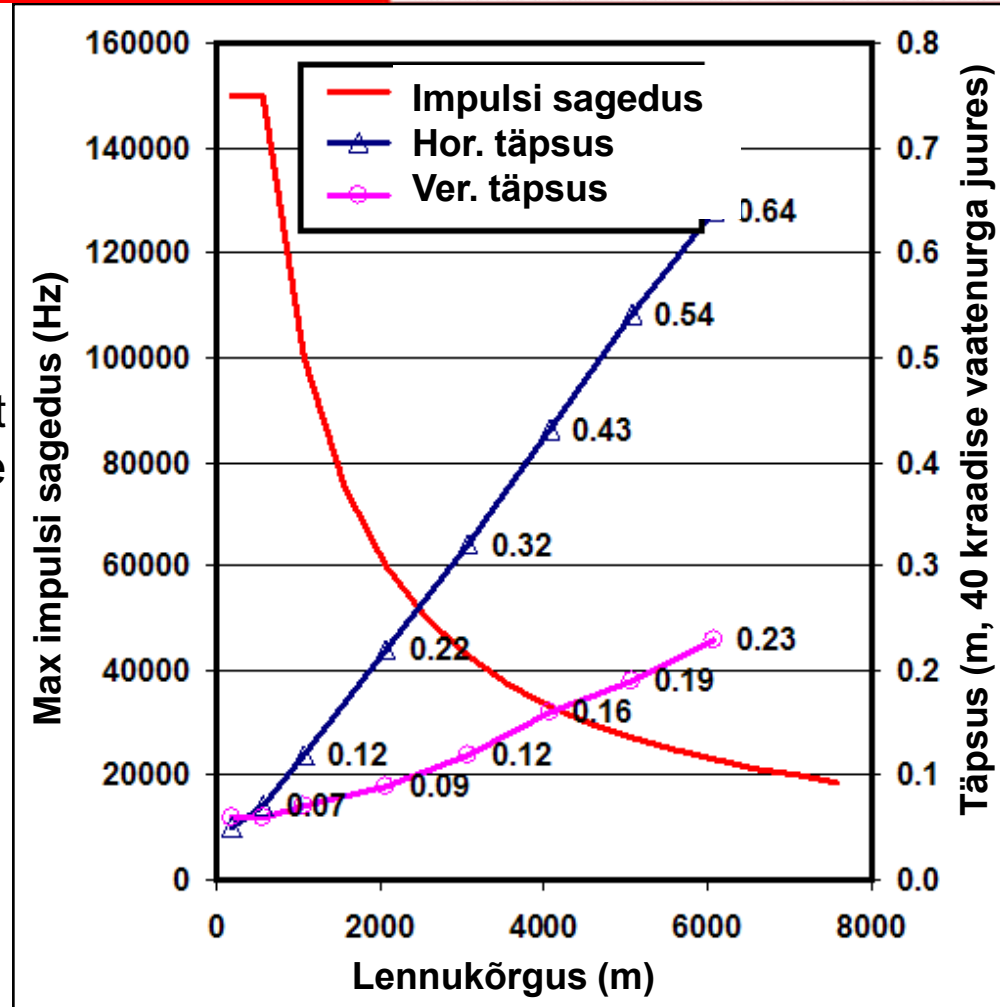
3D anaglüüf pilt ADS40 kaameraga  
R16+G00+B00



# LIDARI täpsus

Joonisel on näha ALS50-II horisontaalne (sinine) ja vertikaalne (roosa) täpsus kõval tasasel pinnal 40 kraadise vaatenurga juures olenevalt lennukõrgusest ning laseri maksimaalse pulsisageduse (punane) muutus olenevalt kõrgusest.

Näide: 4000m x,y= 33cm, z=14cm  
2000m x,y= 17cm, z=9cm  
1000m x,y= 9cm, z=7cm  
500m x,y= 6cm, z=7cm  
300m x,y= 5cm, z=7cm

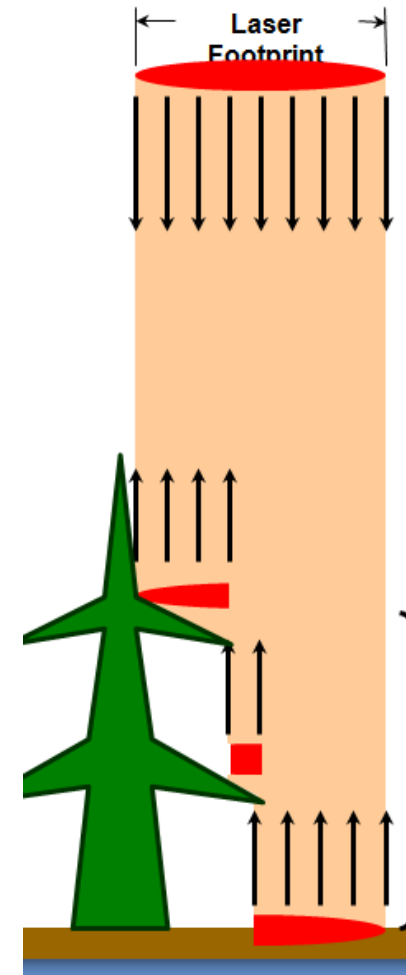


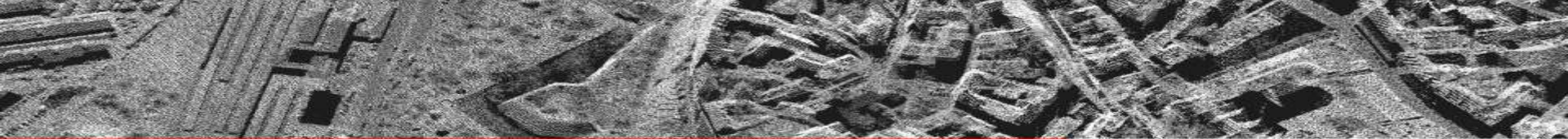


# Peegelduste registreerimine

Kui maapinna ja lennuki vahel esineb takistusi (mets, tehnorajatised jne), siis jaguneb lasekiire jälg mitmeks osaks. Seetõttu registreeritakse üks impulss mitme erineva peegeldusena.

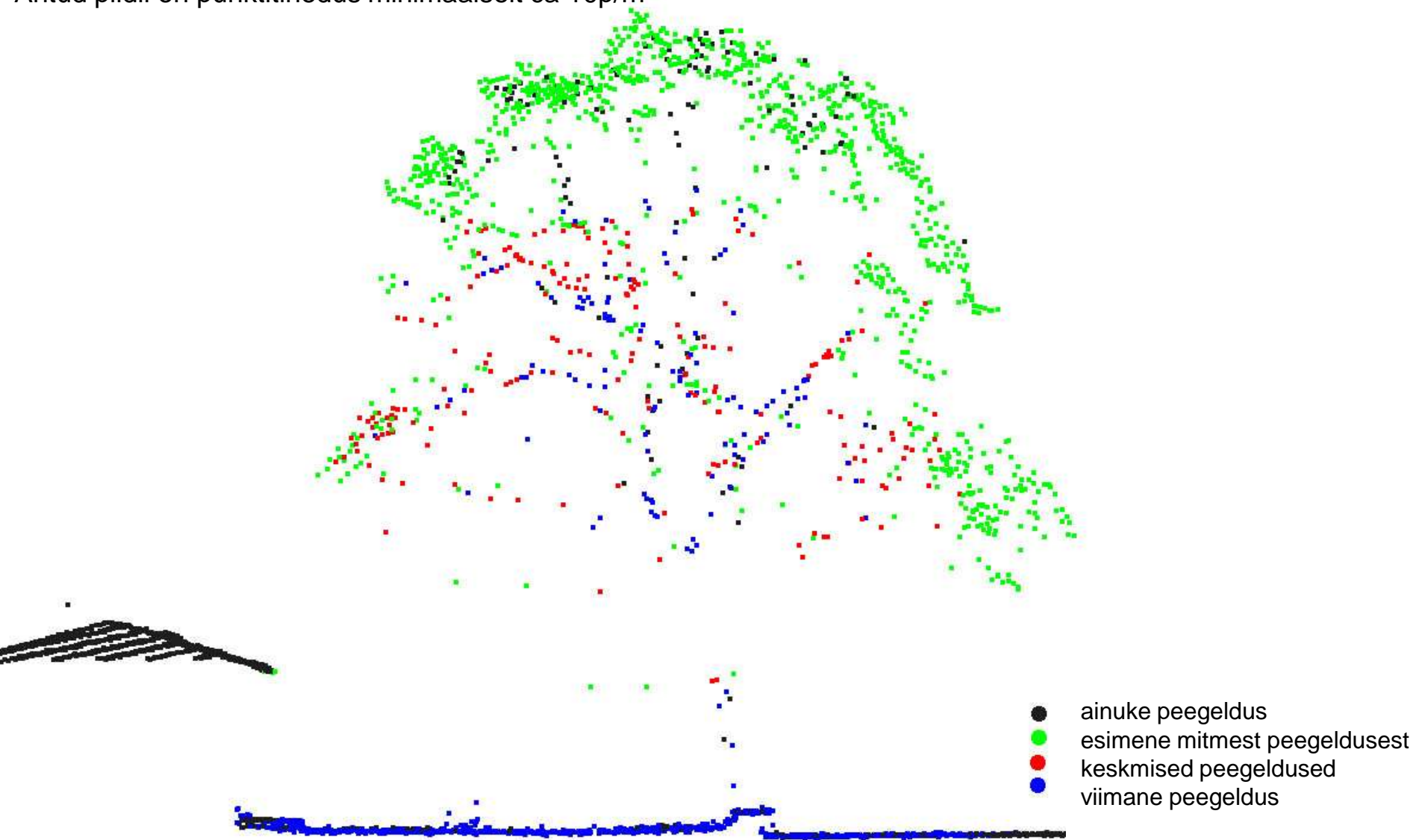
- Laserimpulsi jälg võib jaguneda mitmeks osaks, mis tekitab tagasipeegeldusi mitmelt tasapinnalt.
- Näiteks kui laserkiir tabab puud, siis tekib mitu peegeldust  
esimene - puu ladvast  
teine - võrastikust  
kolmas - maapinnalt
- ALS50-II võimaldab registreerida kuni 4 peegeldust ühe impulsi kohta





# LIDARANDMED

Antud pildil on punktihedus minimaalselt ca 10p/m<sup>2</sup>



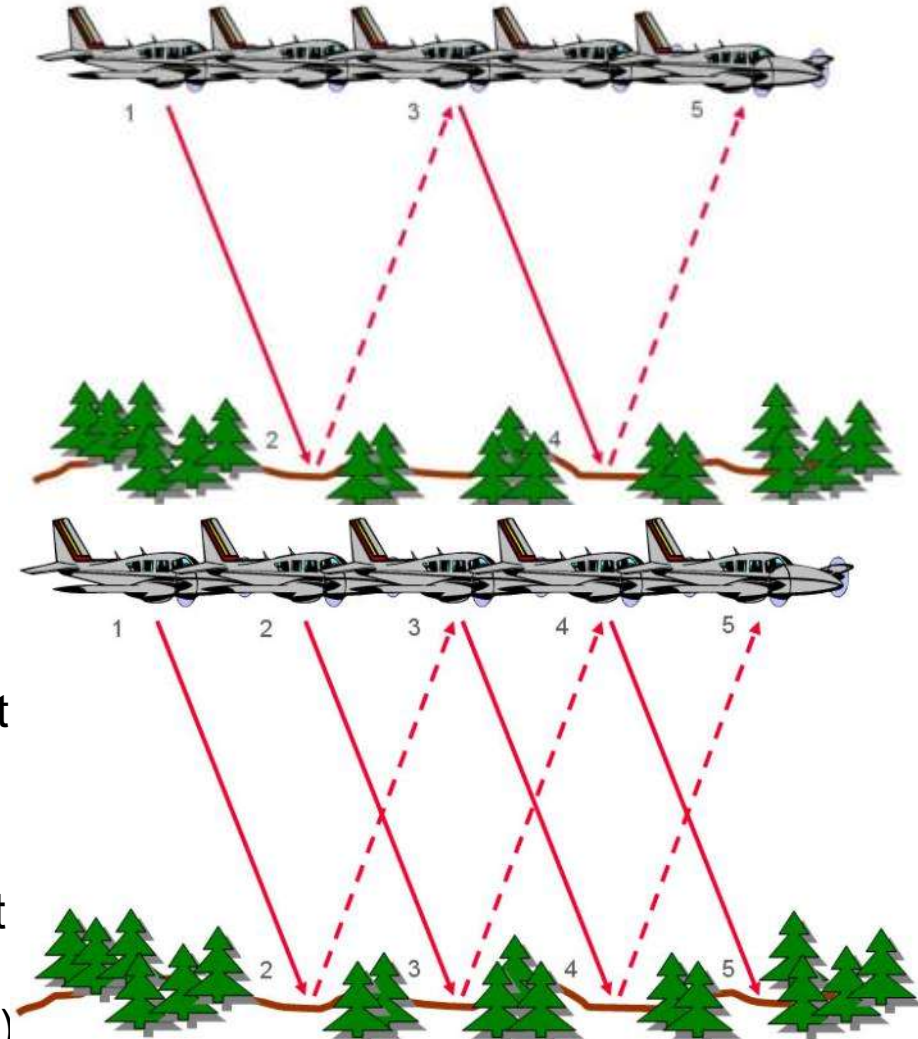
## Multipulss režiim (MPiA)

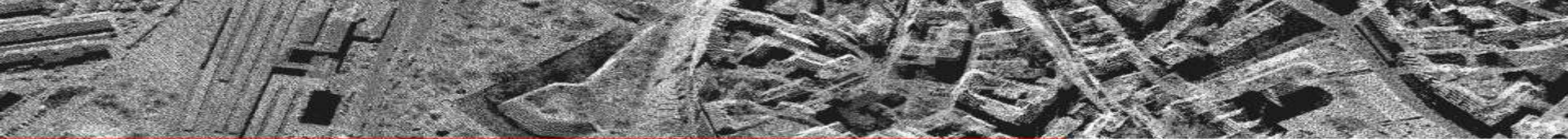
Üksikimpulssrežiimi (SPiA) puhul toimub järgmise impulsi lähetamine siis kui eelneva peegeldus on registreeritud.

Multipulssrežiimi (MPiA) puhul lähetatakse laserimpulsid teele teatud ajavahemike järel, ootamata ära eelneva peegelduse registreerimist.

Multipulssrežiim võimaldab saada andmete hulga tihedama eraldusvõime kõrgematel moodsustulendudel. Multipulssrežiimi saab kasutada alates lennukõrgusest **1200m**, sest madalamatel kõrgustel jääb punktide registreerimiseks liiga vähe aega.

Näide: MPiA 1200m ja SPiA 800 m kõrguselt annab sama punktutiheduse, aga üks katab 870m ja teine 640m laiuse ala (35% laiemalt)

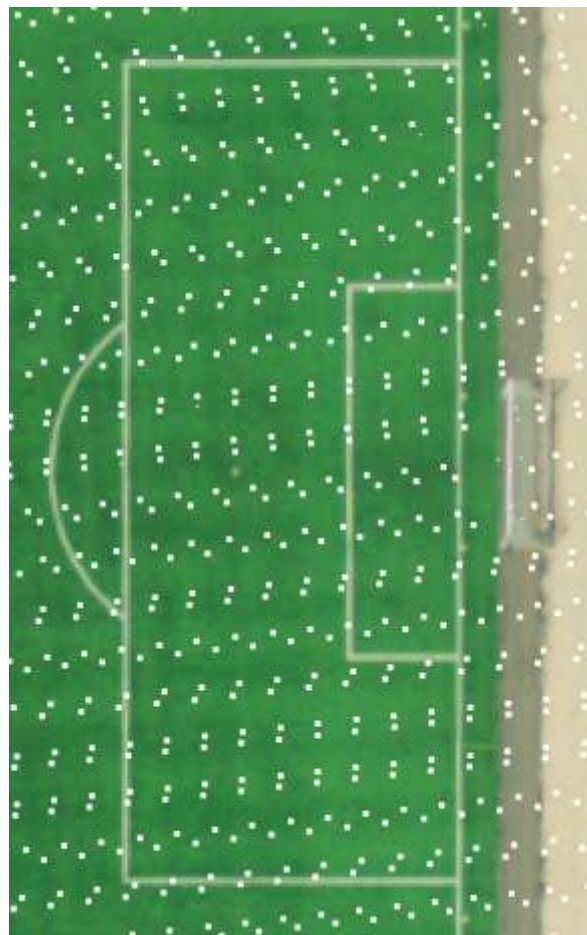




# Punktitihedus erinevatelt lennukõrgustelt



1440m  
1,56p/m<sup>2</sup>



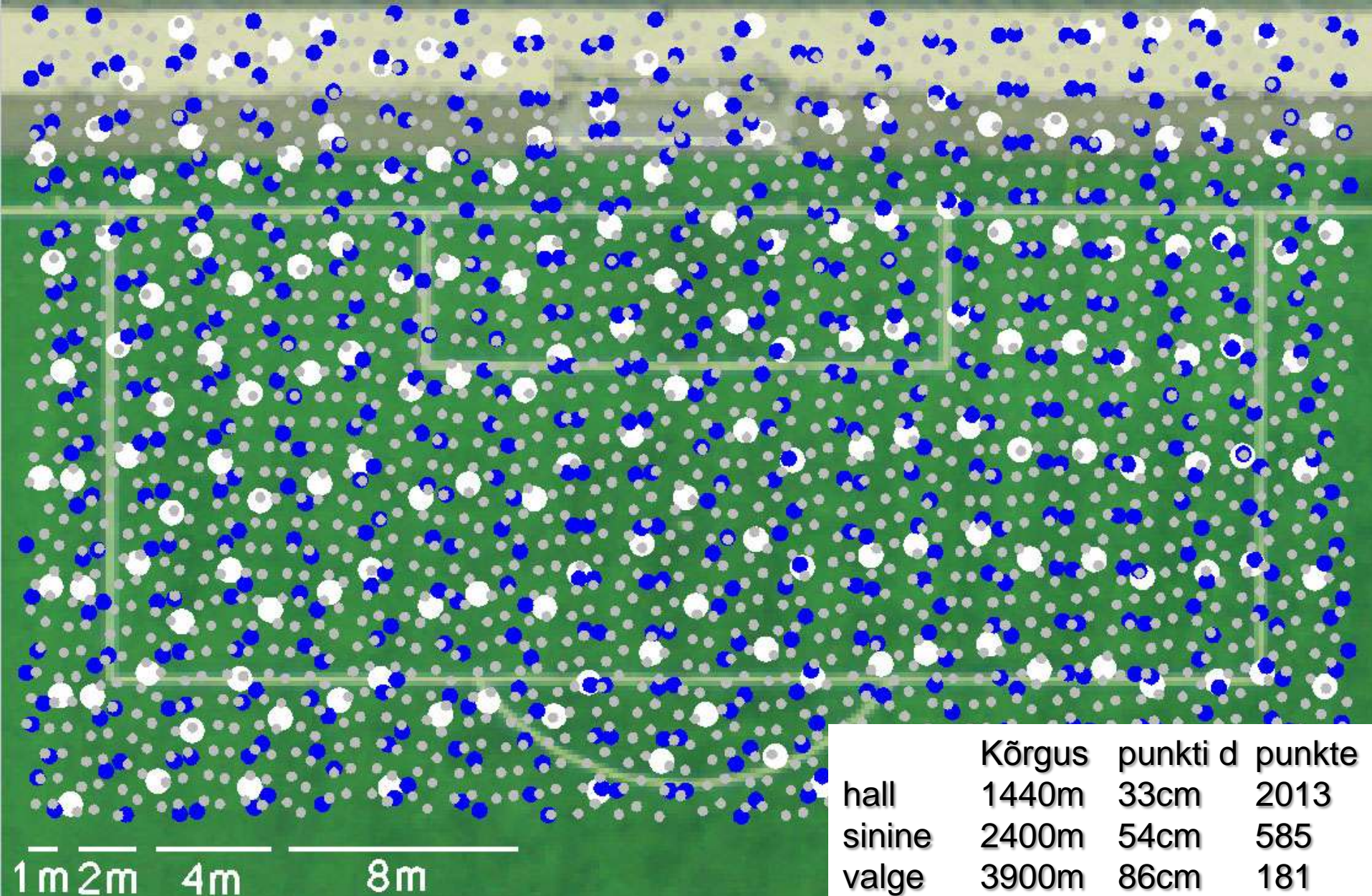
2400m  
0,45p/m<sup>2</sup>



3900m  
0,14p/m<sup>2</sup>

# Reaalne punkti suurus maapinnal

Ala suurus 28x46m= 1288m<sup>2</sup>



# Salvestatavad parameetrid

Lennu ajal salvestatakse igale punktile järgmised parameetrid:

1. Koordinaat: plaanilised ja kõrguslik (xyz)
2. Punkti tagasipeegelduse intensiivsus
3. Peegelduse number (1/1- only, 1/2- first, 2/2- last jne)
4. Punkti möötmise aeg (GPS sekundites)
5. Skaneerimise nurk (all tabelis on ümardatud täisarvuni)

Töö käigus määratakse igale lennujoonele ka iseloomulik numeratsioon. Lennujoon ise omab peale esmast töötlust (\*.LAS) nime kellaaja järgi, millal alustati skaneerimist.

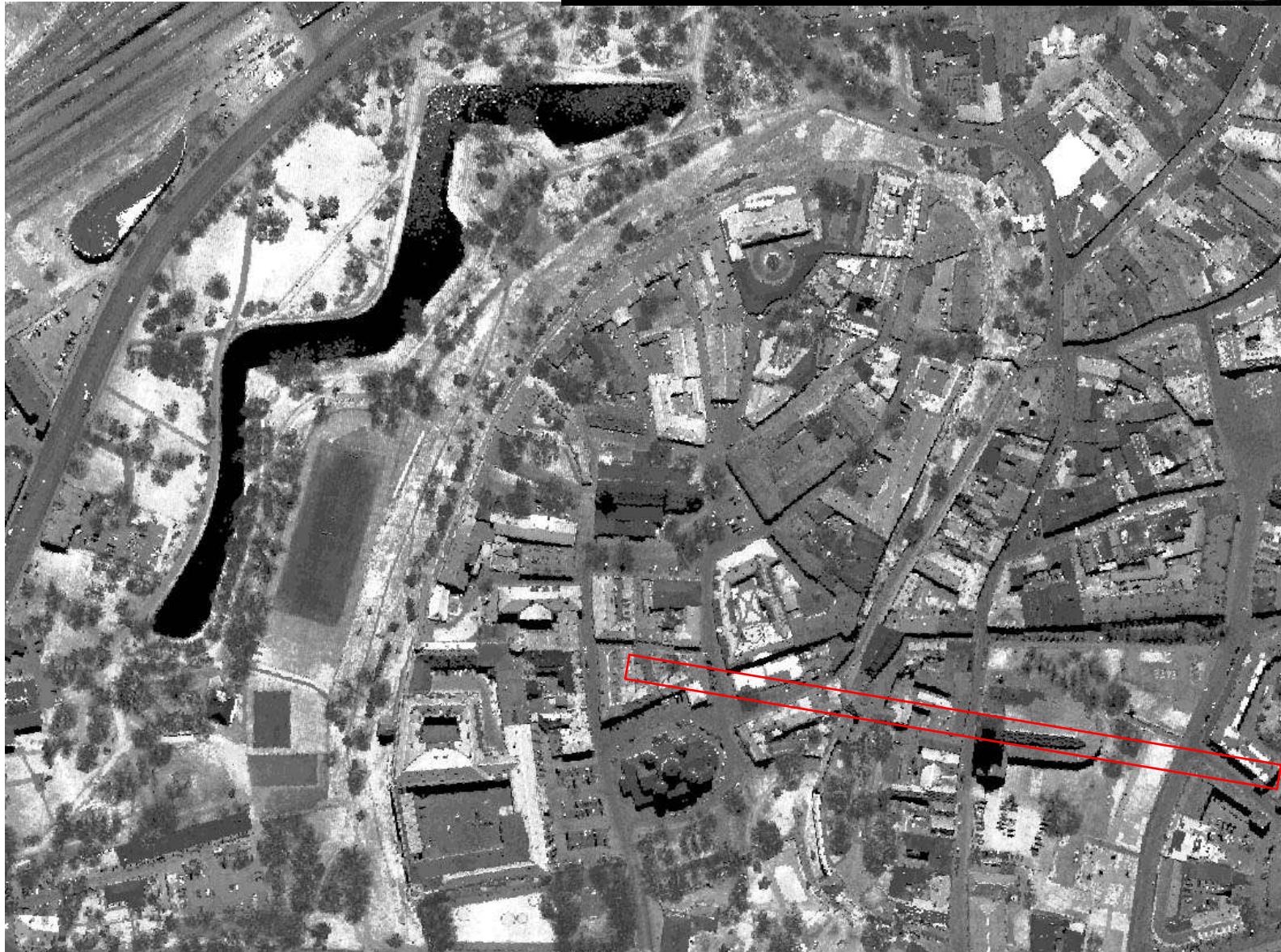
Näiteks: LDR090703\_083021\_1.LAS ja trajektoori faili TRJ\_090703\_083021.trj  
Alustatud on siis 3 juulil 2009 kell 8:30:21 +1h (daylight saving)= 9:30:21

Time stamp	Echo	Easting	Northing	Elevation	Intensity	Scan angle	Echo number
470504.027296	Only	542011.77	6588654.39	+20.35	192	+13	1/1
470504.027303	First	542013.22	6588651.85	+37.18	25	+13	1/2
470504.027303	Last	542011.73	6588654.57	+20.33	107	+13	2/2
470504.027310	First	542013.21	6588651.99	+37.34	2	+13	1/4
470504.027310	Intermediate	542012.55	6588653.19	+29.93	3	+13	2/4
470504.027310	Intermediate	542012.06	6588654.09	+24.32	0	+13	3/4
470504.027310	Last	542011.72	6588654.72	+20.45	1	+13	4/4
470504.027316	Only	542011.69	6588654.89	+20.43	143	+13	1/1
470504.027323	First	542013.06	6588652.49	+36.26	1	+13	1/2

**NÄITEID: punktipilv**



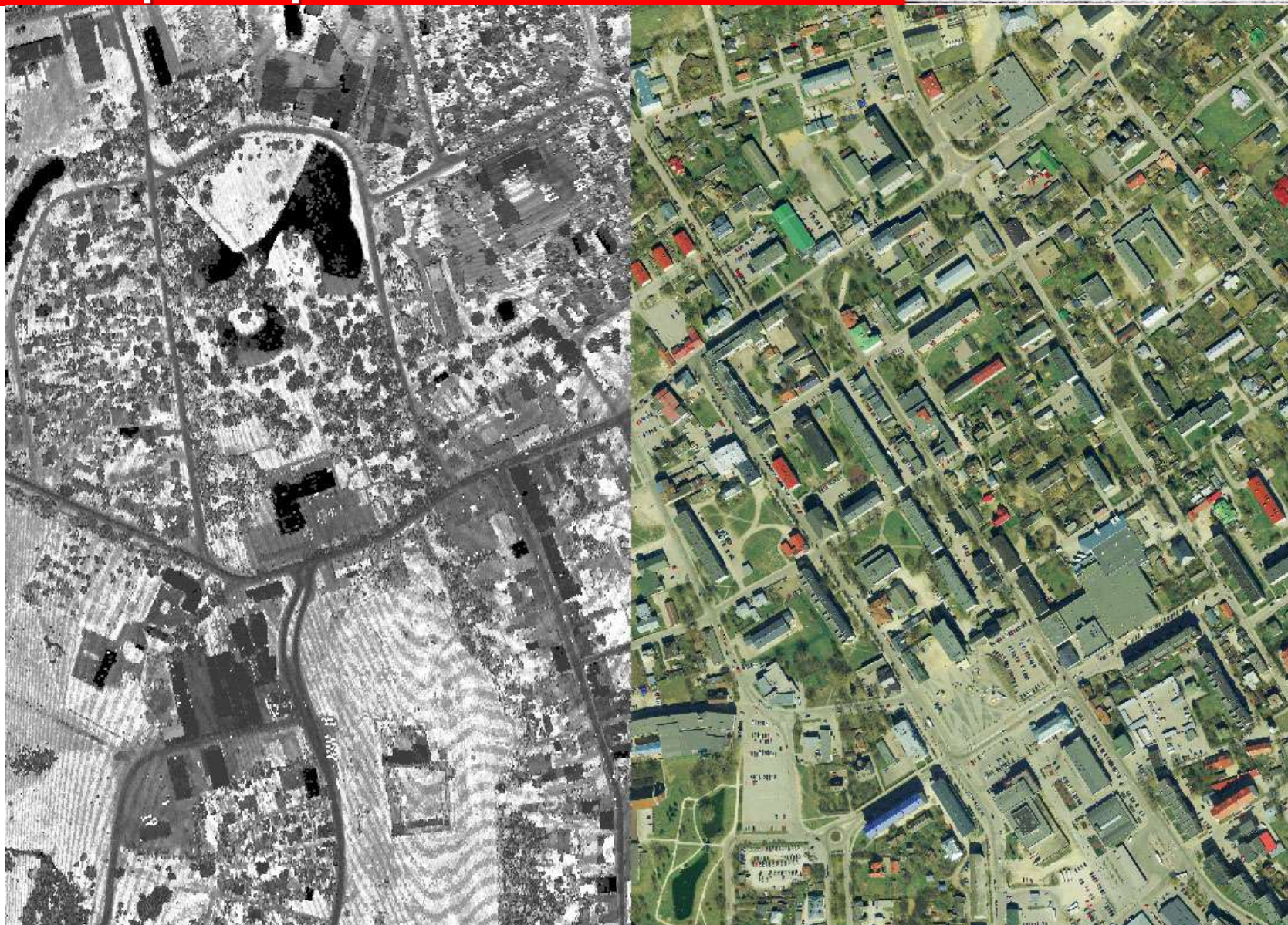
**NÄITEID: punktipilve intensiivsus**

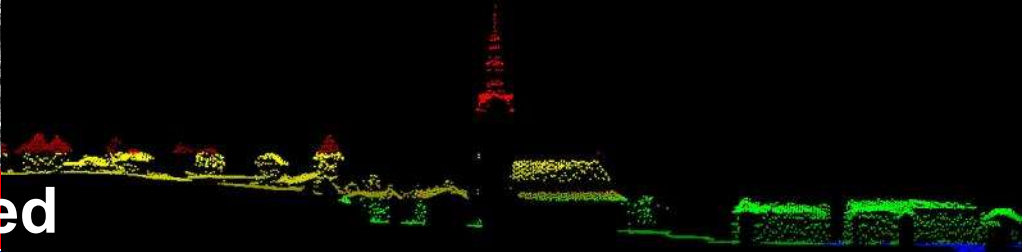




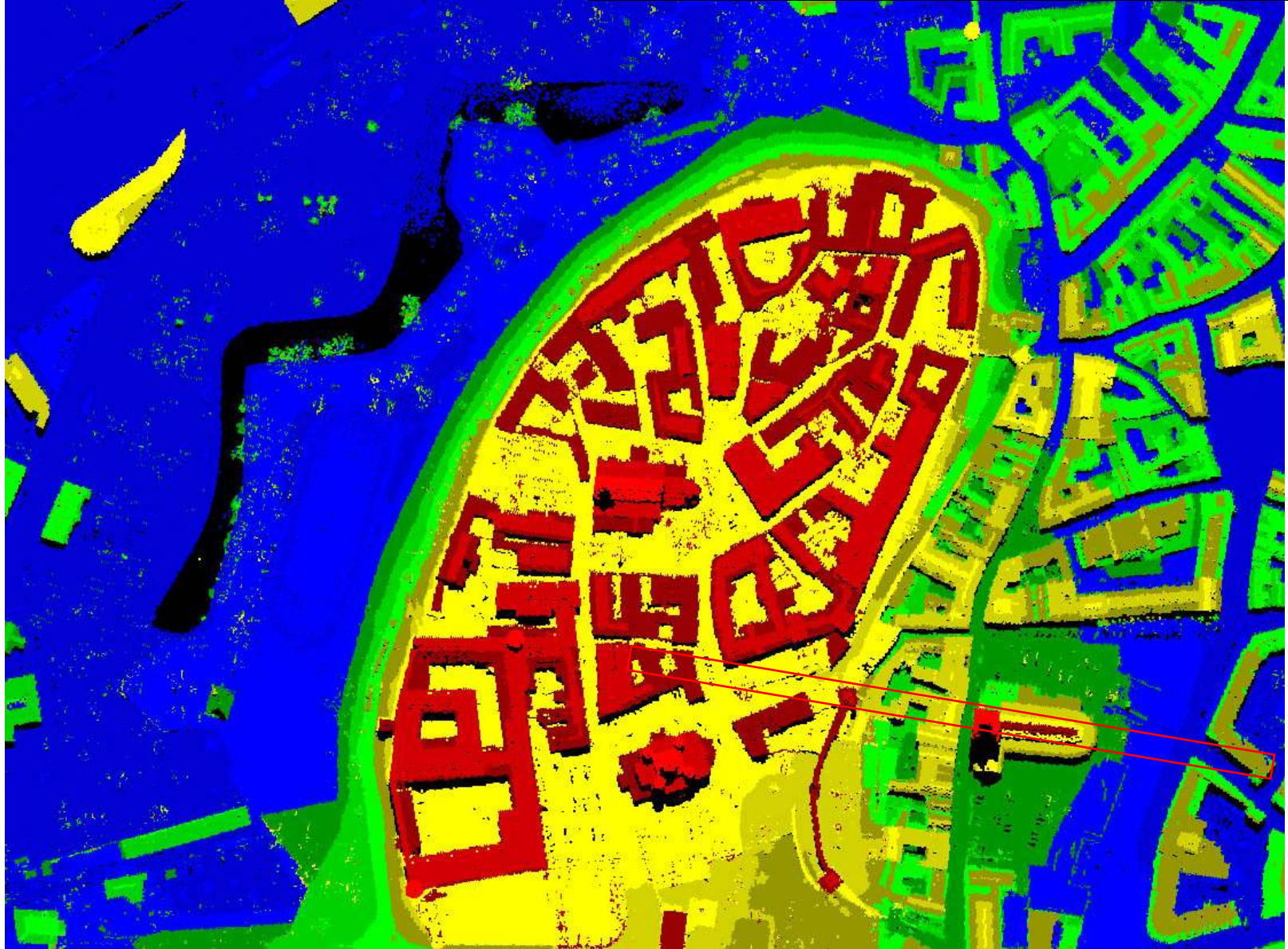


# NÄITEID: punktipilve intensiivsus/ortofoto

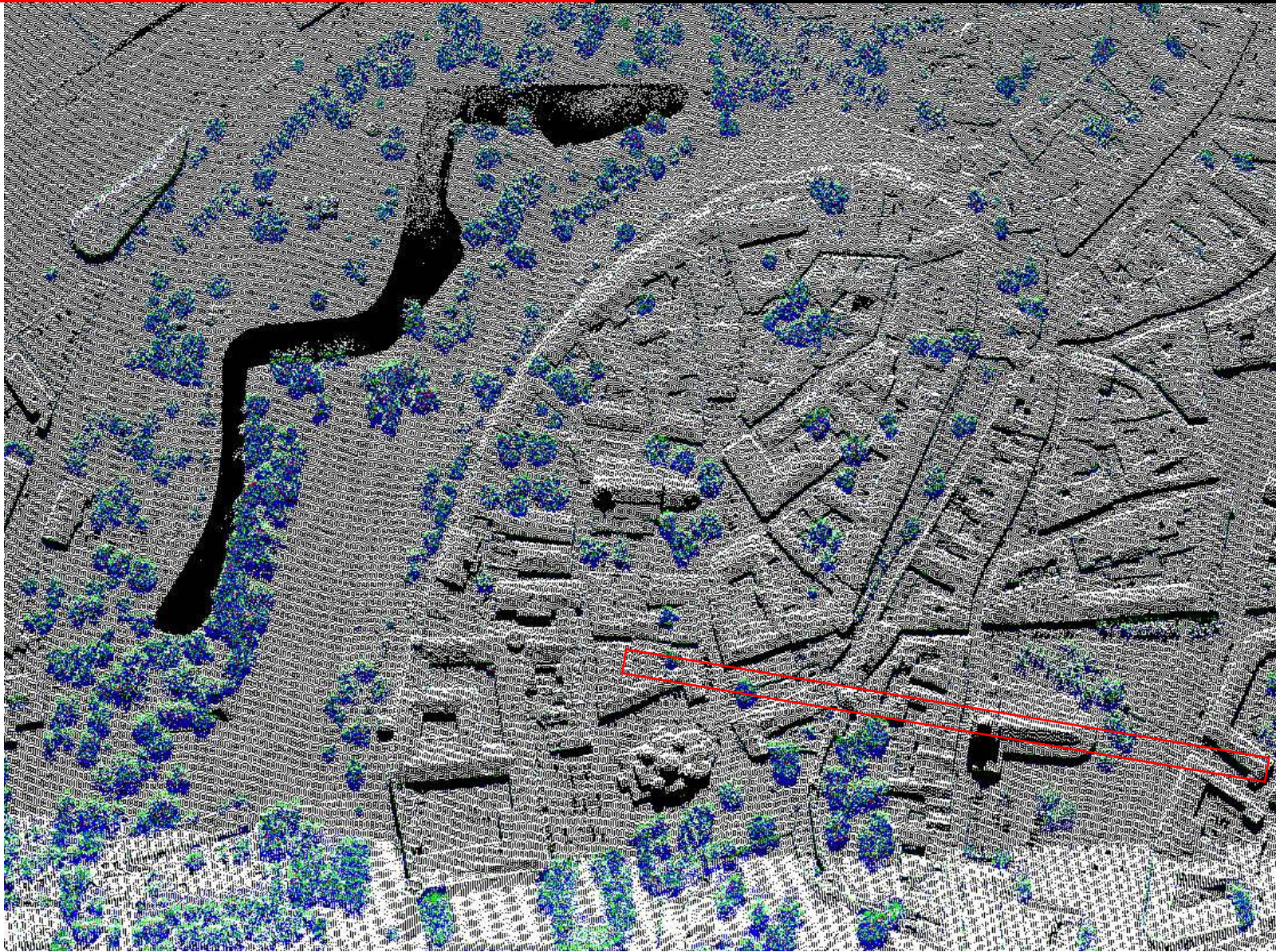




# NÄITEID: punktipilve kõrgused



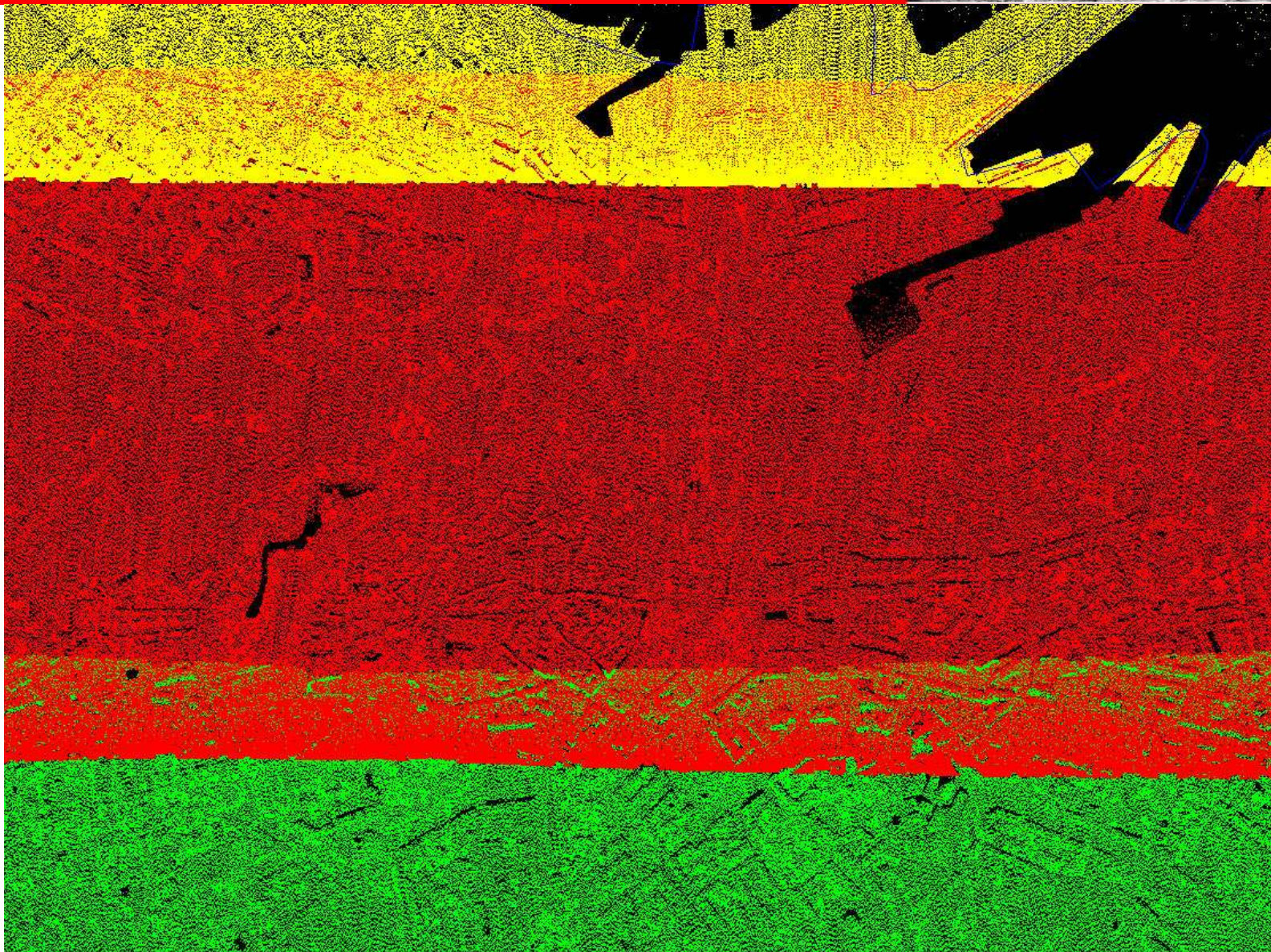
# NÄITEID: erinevad peegeldused



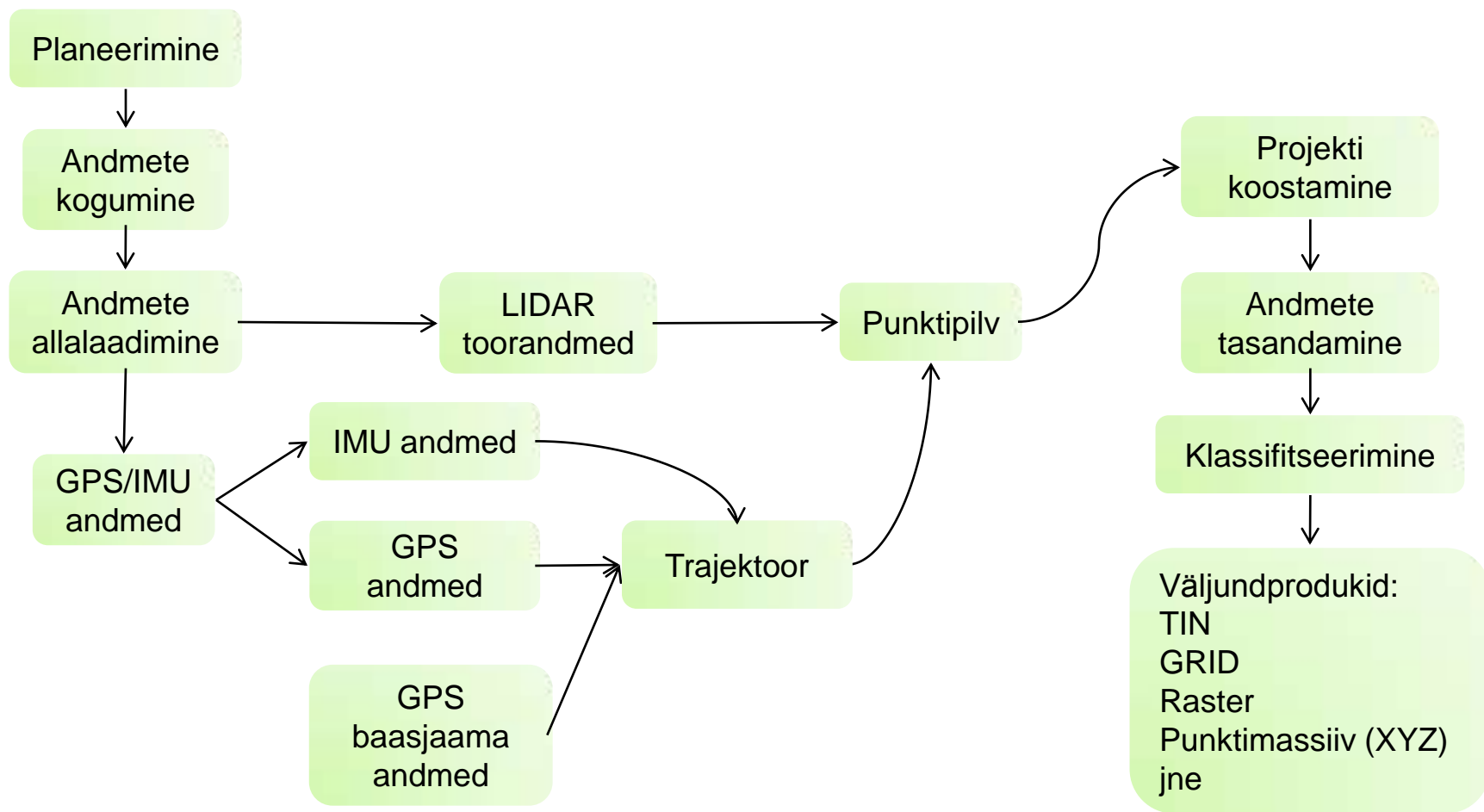
# NÄITEID: varjutuspilt



# NÄITEID: lennuribad



# LIDAR andmete tööprotsess



# STEREOKAARDISTAMINE

Stereokaardistamine/mõõdistamine on inimese ruumilisel nägemisel, aerofotodel ja kõrgtäpsete fotogramm-meetriliste seadmete kasutamisel põhinev maa-ala kaardi või plaani koostamise meetod.



ADS40 salvestab mitut erineva nurga all olevat pildiriba korraga. See tähendab, et piltidel on pidev kattuvus.

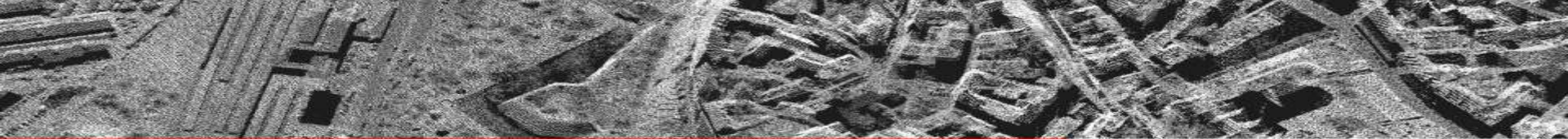
Fotogramm-meetriliste seadmetega luuakse kahest erineva nurga alla pildistatud aerofotost ruumiline kujutis, millelt on võimalik teha kõik kaardi koostamiseks vajalikud mõõtmised.



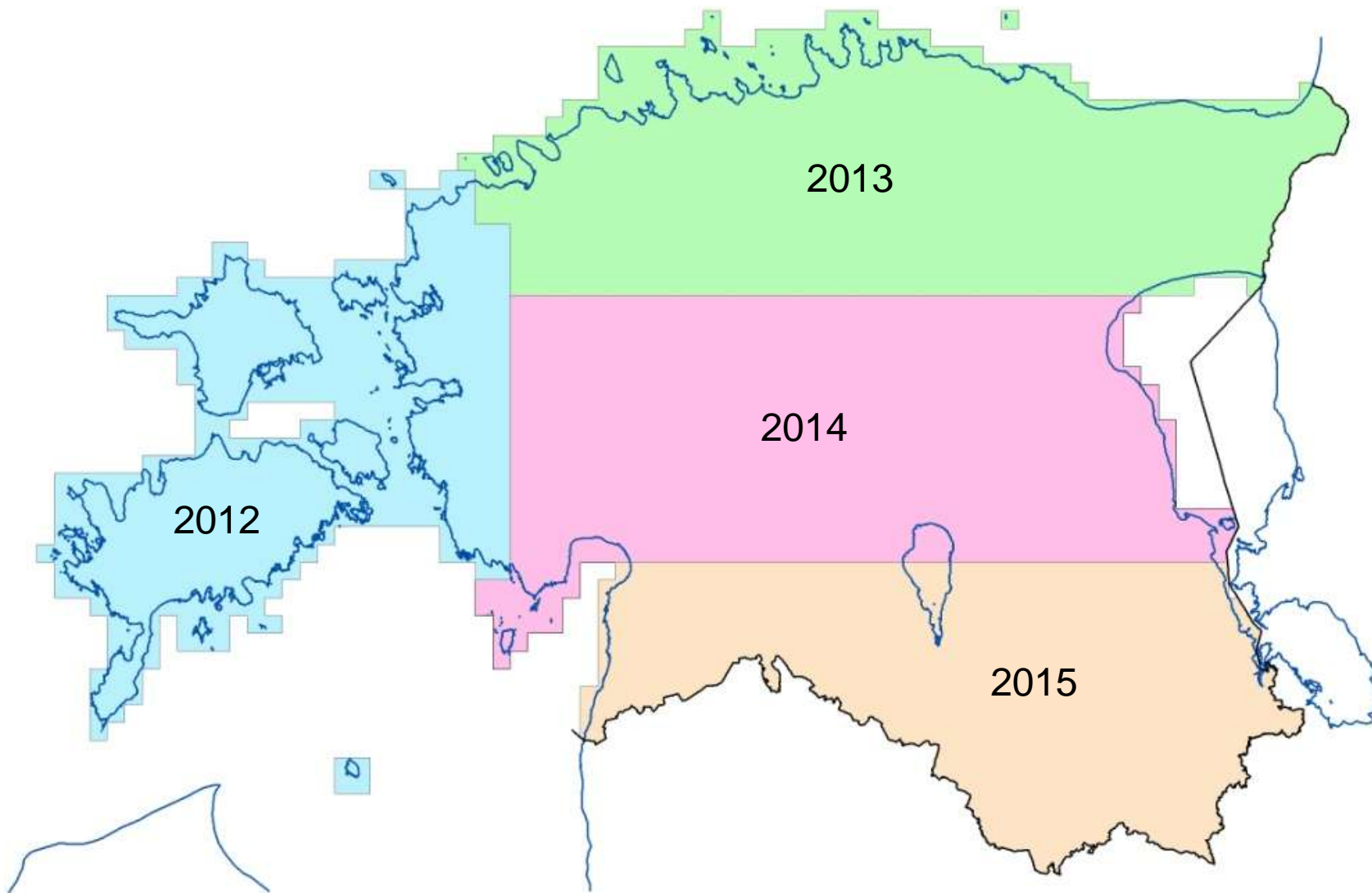
# 2008–2011 kaeti kogu Eesti LIDAR andmetega

## Lennuparameetrid

- vaateväli FOV –  $55^\circ$
- lennujoone laius – 2700m
- põikikattuvus – 15%
- skaneerimise sagedus – 32.6Hz
- laseri pulsi sagedus – 93.9kHz (MPiA)
- min tihedus –  $0.3\text{p/m}^2$
- keskmine tihedus –  $0.45\text{p/m}^2$
- max punktide vahekaugus 2.53m



# Aeropildistuskava 2012 – 2015





# TÄNAN TÄHELEPANU EEST!

Lisainfo [www.maaamet.ee](http://www.maaamet.ee) mait.metsur@maaamet.ee  
märksõnad: fotogramm-meetria, ortofoto, kõrgusmudel.

ORTOFOTOSID JA LIDARANDMEID NÄEB MAA-AMETI GEOPORTAALIS

<http://geoportaal.maaamet.ee/>