

ILMALASERKEILAUS

Pasi Laurila

Lapin AMK 20.2.2019

Airborne laser scan data LMS-Q560

Melbourne, Australia



Laserkeilaus

- Laserkeilauksella mitataan automaattisesti ja nopeasti etäisyyksiä ja suuntia mittauskohteisiin
- Mittausten perusteella saadaan selville kohteiden koordinaatit ja muodostetaan kohteesta kolmiulotteinen pistepilvi
- Pistepilven ja havaitun intensiteetin avulla voidaan tutkia, mallintaa ja visualisoida kohdetta monipuolisesti
- Pistepilveen voidaan liittää valokuvia, mikä lisää pistepilvi-aineistojen käytettävyyttä
- Mittaus- ja laitetekniikoiden osalta puhutaan muun muassa ilma-, maa-, pöytä-, teollisuus-, kuilu- ja mobiilikeilaimista
- Maakeilain on kuin automaattisesti toimiva takymetri
- Ilmakeilain on optisen alueen tutka

Laserkeilauksen sovellusalueita

- Pistepilviaineistosta voidaan tuottaa muun muassa:
 - Digitaalinen korkeusmalli
 - Korkeuskäyrät
 - Valumamalli
 - Rakennusmalli
- Sovelluskohteita voivat olla muun muassa:
 - Tulva-analyysit
 - Melumallinnukset
 - Maasto- ja kaupunkimallien tuotanto
 - Ortokuvatuotanto (orto-oikaisun korkeusmallit)
 - Tie- ja raidemittaukset
 - Metsänarvioinnit
 - Valumavesianalyysit
 - Maastokarttatuotanto
- Tutkimuspuolella on viime vuosina kiinnitetty paljon huomiota metsänmittaukseen jopa yksittäisten puiden tasolla

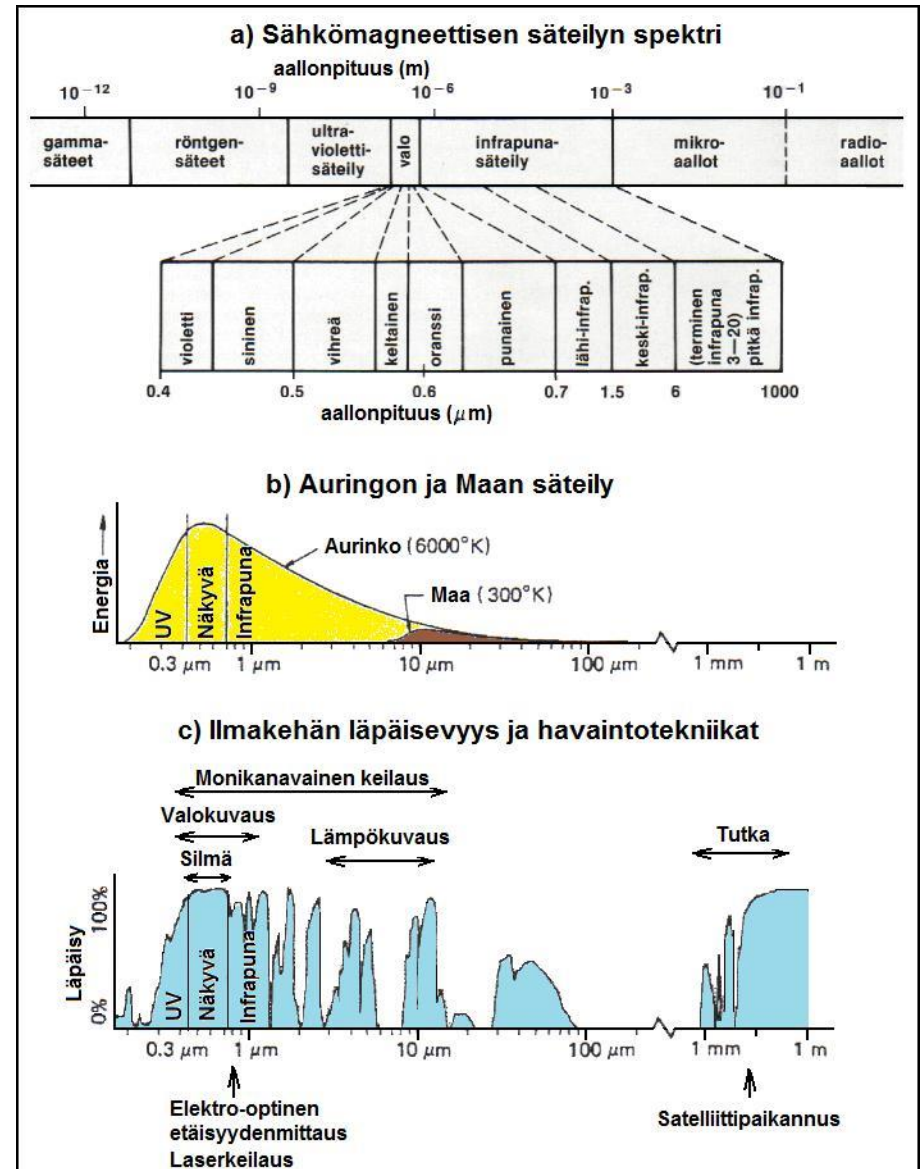
Laserkeilain mittaa spektrin optisella alueella

Laserkeilauksessa, kuten yleensäkin kaukokartoituksessa, tiedonkeruu perustuu sähkömagneettiseen säteilyyn.

Laserkeilain on aktiivinen kaukokartoituslaite: se muodostaa mittaussignaalin, jonka heijastuksen laitteen ilmaisimella havaitsee.

Ilmakeilauksessa mittaussignaali on lyhytkestoinen, yksivärinen pulssi, joka yleensä sijoittuu infrapunaisten valon alueelle.

Nykyisin on saatavilla myös valkoisen valon laser, jolla kohdetta voidaan kuvata väreissä eli monikanavaisesti.



Valkoisen valon keilain

Geodeettinen laitos (maanmittauslaitoksen paikkatietokeskus) on kehittänyt monikanavaisen laserkeilaimen (2012).

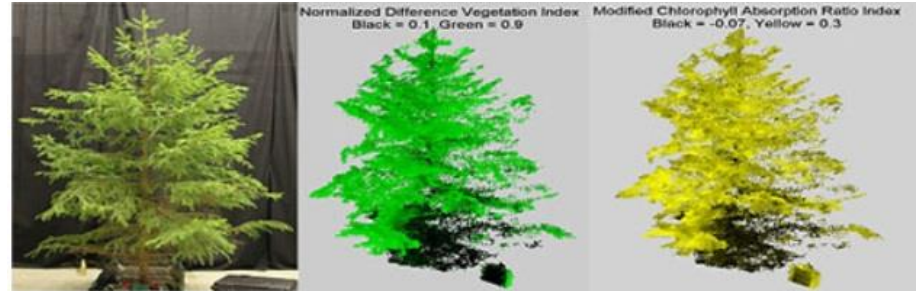
Se on superjatkumolaser (hyper-spektrilaser), joka tuottaa hyvin kirkkaita valkoisen valon pulsseja.

Etäisyyden lisäksi heijastunut pulssi sisältää tiedon kohteen väristä.

Väri saadaan jakamalla paluupulssi erivärisiin komponentteihin.

Laite mahdollistaa automaattisen kohteiden tunnistuksen ja tulkitsemisen.

Erityisesti kasvillisuuden kartoitukseen liittyvät odotuksen ovat korkealla.



Uusi tekniikka mahdollistaa kohteelle tärkeiden ominaisuuksien kolmiulotteisen mallinnuksen ja visualisoinnin. Laitteella voidaan mitata kolmiulotteisesti spektrin kanavasuuhteiden jakaumaa ja esimerkiksi erottaa tarkasti kuivuneet kohdat puun oksistossa. Samalla tavalla voidaan mitata esimerkiksi klorofyllipitoisuutta joka liittyy kasvien yhteyttämiseen ja ravinteiden kiertoa tai tunnistaa kuolleita osia kasvilla.



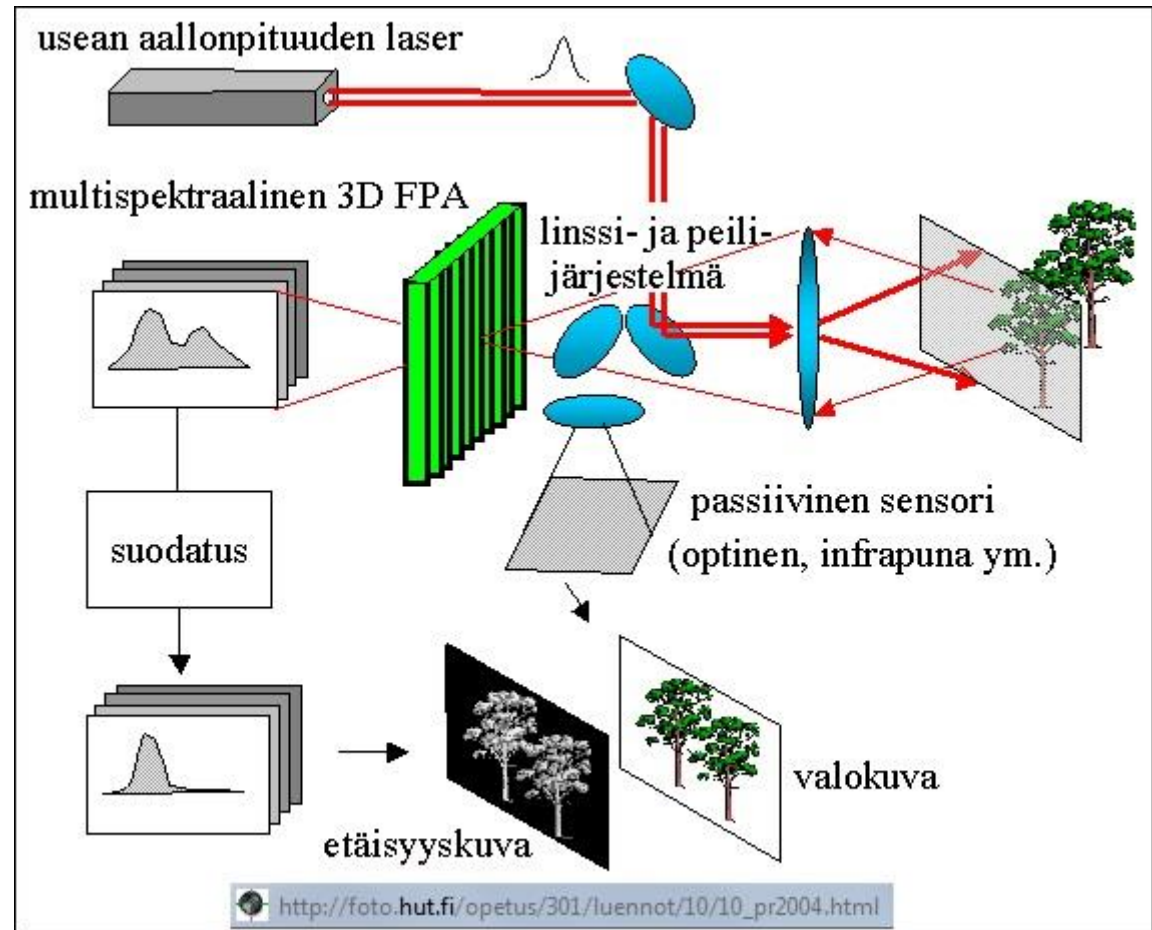
Omenapuun 3D-mallista (vasemmalla) on mahdollisuus erottaa värien avulla puun osat ja tarkastella esimerkiksi puun ja omenoiden terveyttä puun eri osissa

Tulevaisuuden mittausjärjestelmät

Tulevaisuudessa voidaan tuottaa kertamittauksella, kuin kameralla, piste-pilvi (etäisyyskuva) keilauksen sijaan.

Kohde valaistetaan kerralla ja 3D FPA (focal plane array) rekisteröi kulku-ajat kuva-alkioittain.

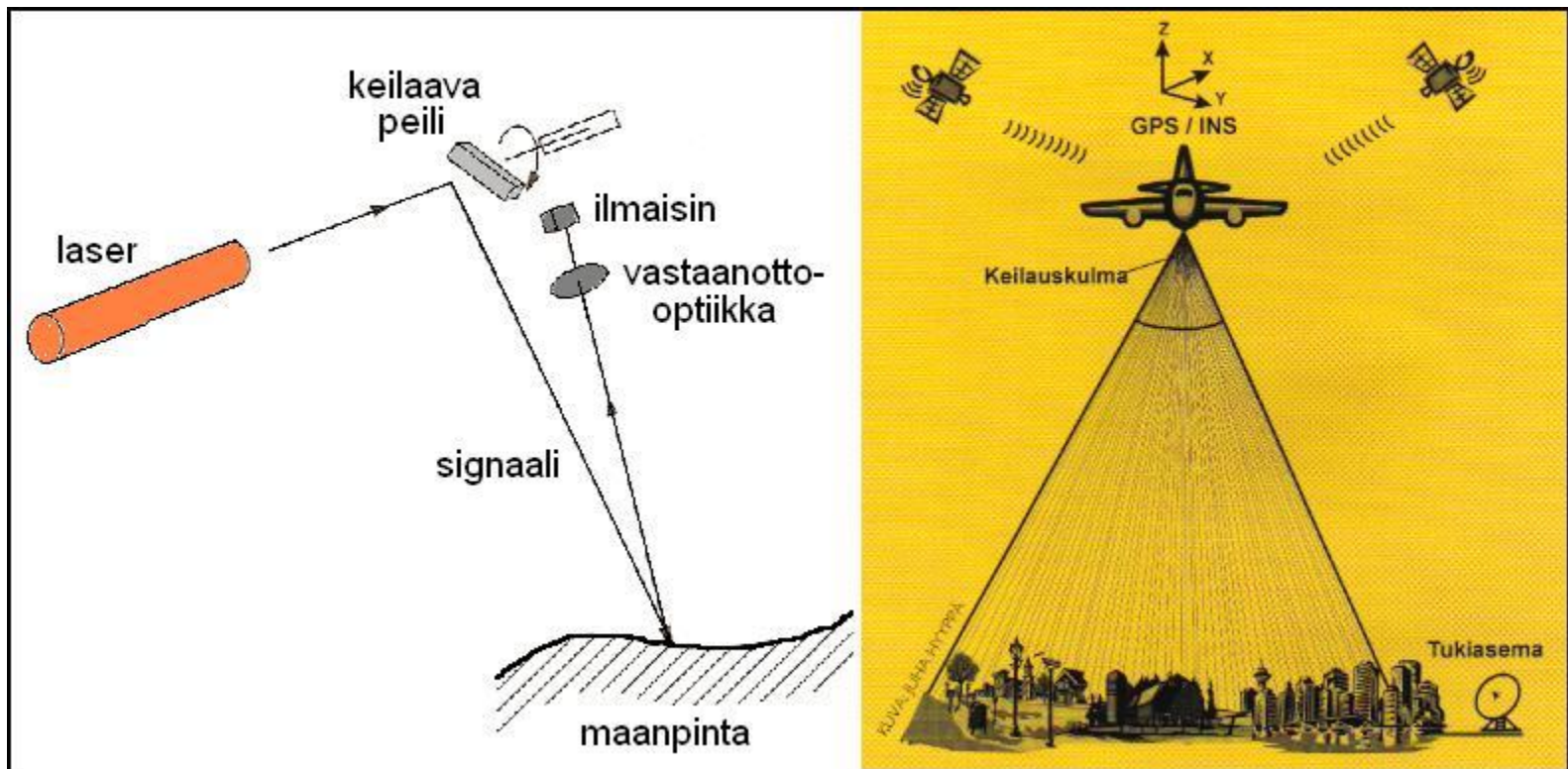
Samanaikaisesti otetun tai jälkikäteen rekisteröidyn valokuvan avulla saadaan jokaiselle kuva-alkiolle myös sävyarvo.



3D-etäisyyskamerat, monikanavaisuus, yhden fotonin keilain, Geiger-keilain, SLAM-tekniikat

Ilmakeilain

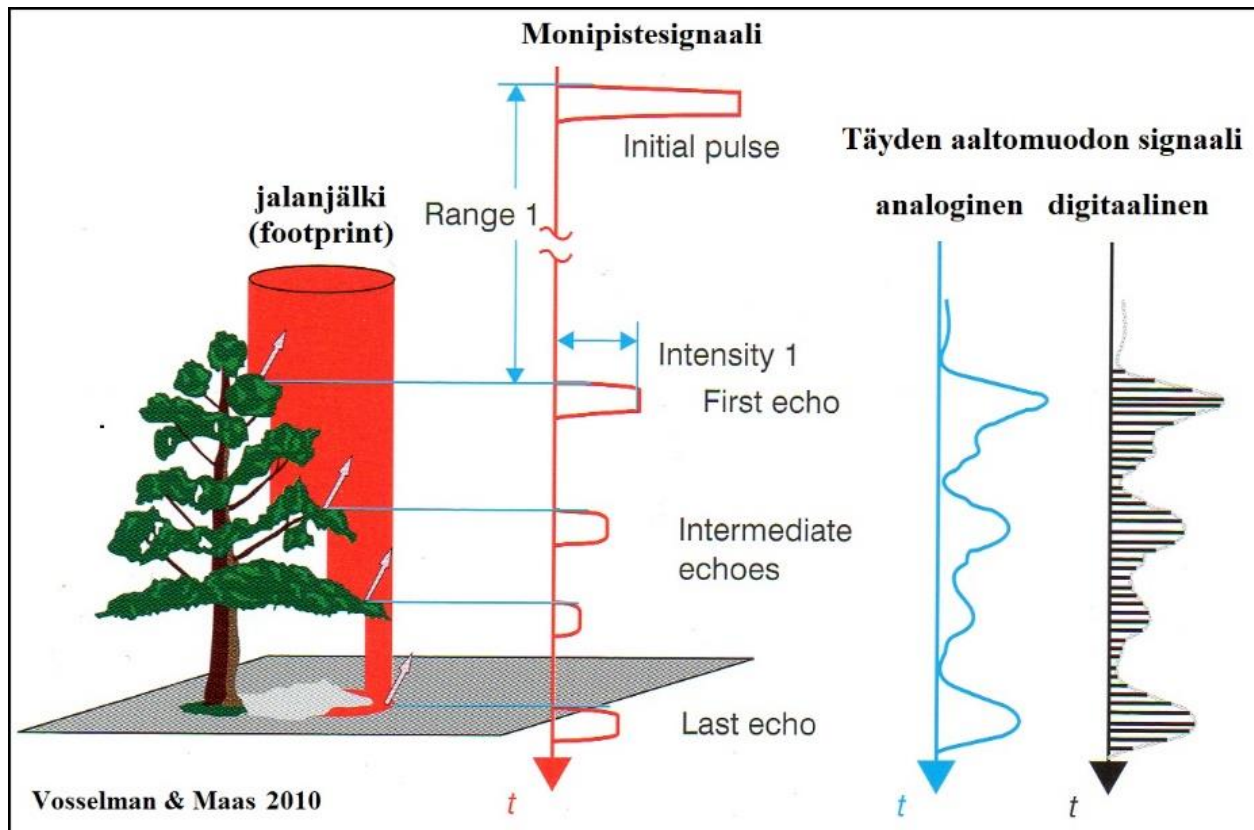
Ilmakeilain koostuu keilainosasta, lasertykistä ja ilmaisinosasta. Keilainosa kääntää laserkeilaa. Lasertykki lähettää laserpulsseja, jotka osuvat ja kimpoavat takaisin kohteesta. Ilmaisinosassa ottaa vastaan takaisin kimmonneet pulssit



Keilauksen yhteydessä kohde usein valokuvataan kohteiden tunnistamisen helpottamiseksi

Täyden aaltomuodon signaali

Monipiste- ja täyden aaltomuodon keilaimissa paluusignaali tallennetaan mahdollisimman täydellisenä, jolloin siitä pystytään erottamaan useita kaikuja. Tavalliseen ensimmäisen paluusignaalin rekisteröivään keilaimeen verrattuna mittaustarkkuus, peitteisten alueiden mittausmahdollisuus ja pisteiden luokittelu paranevat.

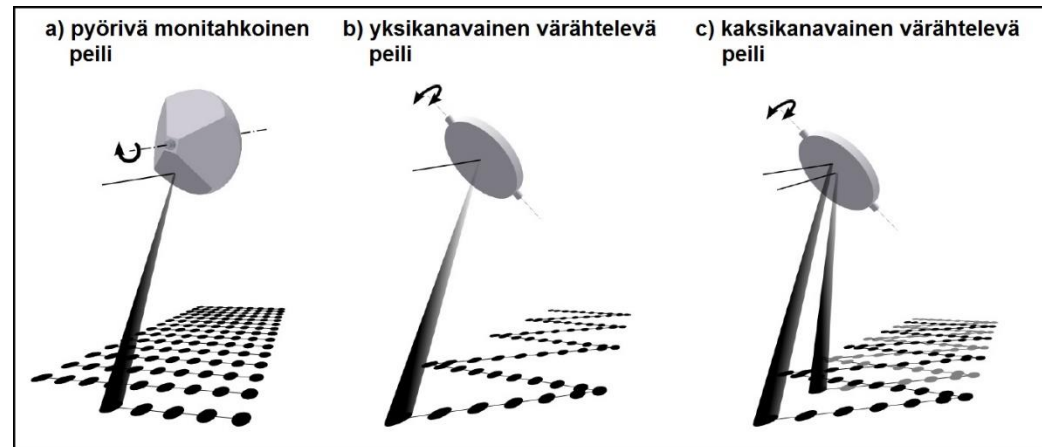


Keilausmekanismit

- Yhteen suuntaan pyörivä monitahkoinen peili tuottaa yhdensuuntaisia linjoja
- Yksikanavainen edes-takaisin värähtelevä peili tuottaa Z-kuvion
- Kaksikanavainen edes-takaisin värähtelevä peili tuottaa kaksi osittain päällekkäistä Z-kuviota

Keilausliike syntyy peilin pyörimisen tai värähtelyn ja kuvauskoneen etenemisen yhteisvaikutuksesta.

Erilaiset keilausmekanismit tuottavat tiheydeltään vaihtelevia pistekuvioita.



Keilaimen tuottamasta raakadatasta voidaan interpoloida säännöllinen pistejoukko.

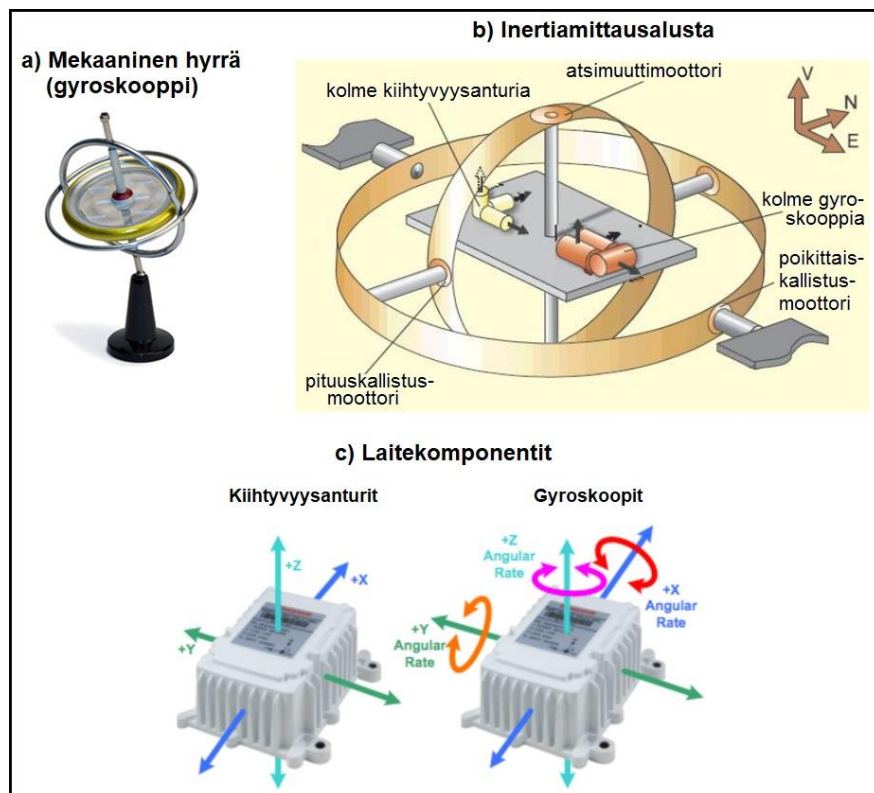
Inertiamittausyksikkö (IMU)

Inertia = hitaus, jatkuvuus, vitka. Kappale säilyttää liiketilansa ellei siihen kohdistu ulkoisia voimia.

Kiihtyvyysanturit ja gyroskoopit ovat nykyisin yleensä **MEMS**-antureita (micro-electromechanical systems).

Gyroskoopit voivat olla myös mekaanisia hyrriä tai optisia, kuituoptisia tai harmoniseen värähtelyyn perustuvia antureita.

Inertiamittausyksikön anturit (kiihtyvyysanturit ja gyroskoopit) mittaavat sijainnin ja asennon muutoksia, eivät absoluuttista paikkaa ja asentoa



Suure	Tarkkuus
Paikka (GNSS)	0.05-0.3 m
Nopeus	0.005 m/s
Asento	0.005 °
Systemaattinen virhe	0.01 °/h

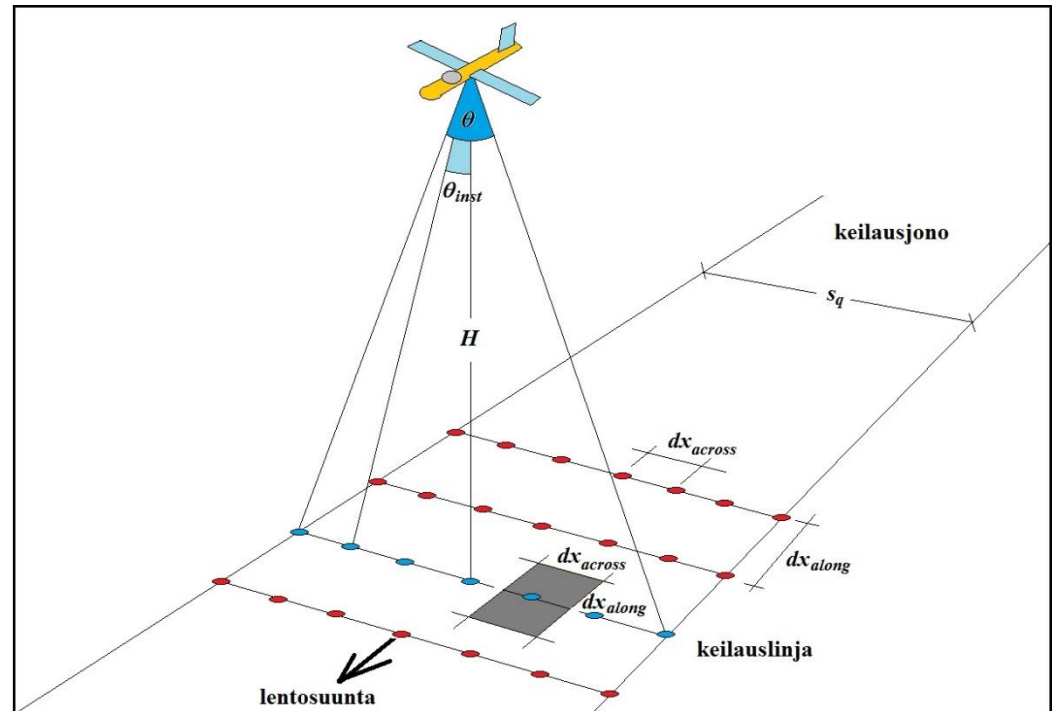
Keilauslennon rakenne

Ilmakeilaimet ovat monimutkaisia mittalaitteita.

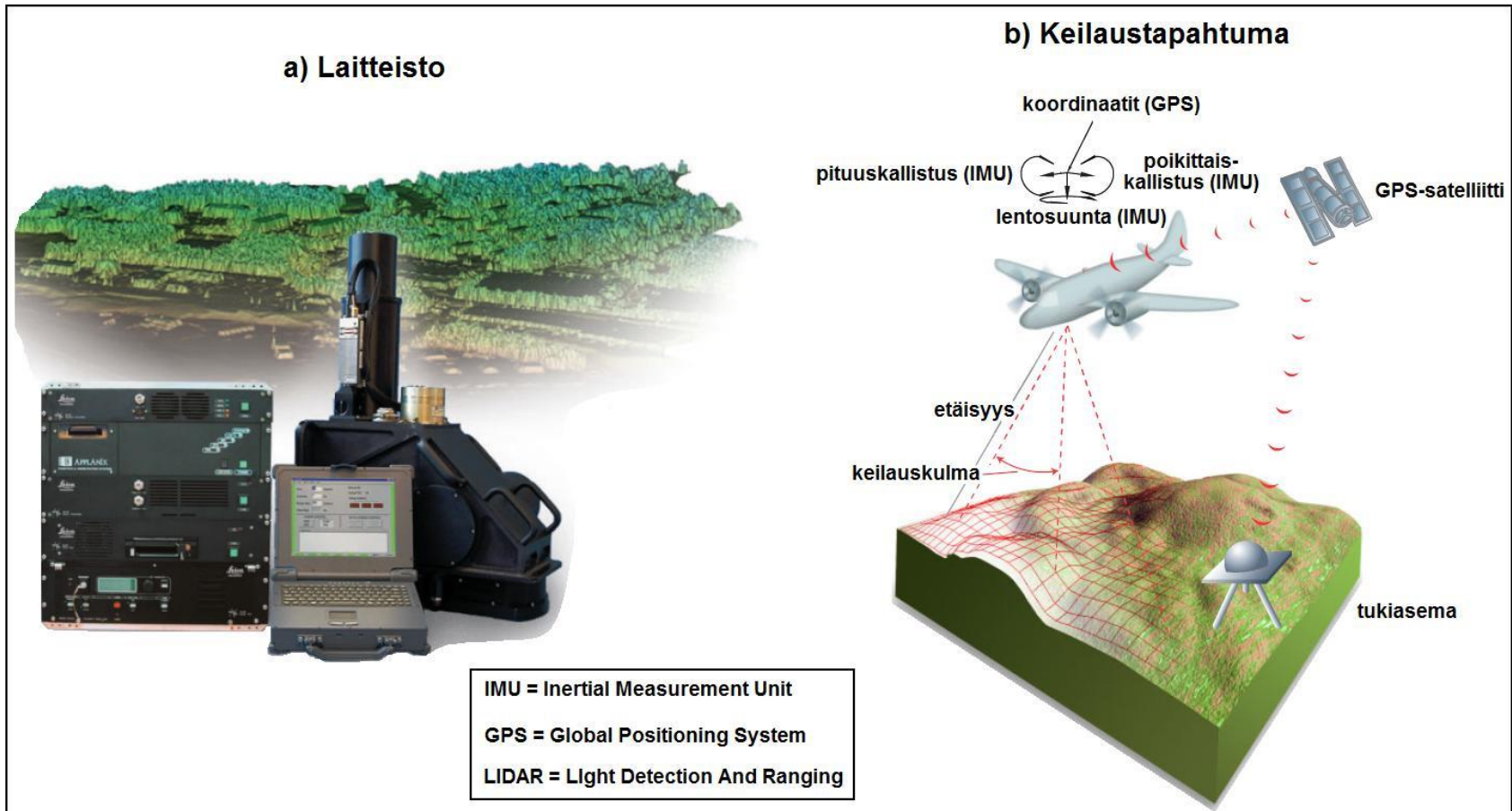
Teknisiä ominaisuuksia, joilla on merkitystä kuvauslennon toteutuksen näkökulmasta ovat muun muassa:

- laserin aallonpituus
- keilaimen pistekuvio
- pulssin kesto ja energia
- pulssintoistotaajuus (PRF)
- keilan divergenssi (IFOV → jalanjälki)
- suurin avauskulma (FOV)
- keilaustaajuus (LPS)
- lentokorkeus

Maanmittauksen tehtävissä ilmakeilaus suoritetaan ilmakuvauksen tapaan yhdensuuntaisina jonoina. Vierekkäisten jonojen sivupeiton tulee olla vähintään 30 %. Lennon suunnittelussa pyritään tasalaatuiseen, käyttötarkoituksen mukaiseen aineistoon.



Ilmalaserkeilain Leica ALS 40



Keilauskulma voi olla jopa 75 astetta, mikä vastaa ilmakuvauksen avauskulmaa. Lentokorkeuden vaihteluväli on 500 – 6000 m. Tarkkuus vaihtelee 0.15 – 0.75 m rajoissa

Iimalaserkeilain RIEGL LMS-Q680i

Technical Data RIEGL LMS-Q680i

Laser Product Classification

Safe for the naked eye
Safe for the aided eye

Class 3R Laser Product according to IEC60825-1:2007

The following clause applies for instruments delivered into the United States: Complies with 21 CFR 1040.10 and 1040.11 except for deviations pursuant to Laser Notice No. 50, dated June 24, 2007.

> 1,5 m (NOHD)
> 10 m (ENOH)



Aallonpituus 1550 nm

Range Measurement Performance

as a function of PRR and target reflectivity

Laser Pulse Repetition Rate	80 kHz	200 kHz	300 kHz	400 kHz
Max. Measurement Range ¹⁾ natural target $\rho \geq 20\%$ natural target $\rho \geq 60\%$	2000 m 3000 m	1350 m 2200 m	1150 m 1850 m	1000 m 1650 m
Max. Operating Flight Altitude AGL ²⁾	1600 m 5000 ft	1100 m 3600 ft	950 m 3100 ft	800 m 2600 ft

1) The following conditions are assumed:
 • target is larger than the footprint of the laser beam
 • perpendicular angle of incidence
 • ambiguity to be resolved by proper flight planning and multiple-time-around processing
 • average ambient brightness
 • visibility 23 km

2) Reflectivity $\rho \geq 20\%$, max. scan angle 60° , additional roll angle $\pm 5^\circ$, MTA zone transitions not considered

Minimum Range

30 m

Accuracy^{3) 4)}

20 mm

Precision^{5) 5)}

20 mm

Laser Pulse Repetition Rate⁶⁾

up to 400 000 Hz

Effective Measurement Rate

up to 266 kHz @ 60° scan angle

Laser Wavelength

near infrared

Laser Beam Divergence⁷⁾

$\leq 0,5$ mrad

Number of Targets per Pulse

digitized waveform processing: unlimited⁸⁾

monitoring data output: first pulse

Scanner Performance

Scanning Mechanism

rotating polygon mirror

Scan Pattern

parallel scan lines

Scan Angle Range

$\pm 30^\circ = 60^\circ$ total

Scan Speed

10 - 200 lines/sec

Angular Step Width $\Delta \theta$ ⁹⁾

$\Delta \theta \geq 0,002^\circ$ (for PRR 400 000 Hz⁹⁾)

between consecutive laser shots

Angle Measurement Resolution

0,001°

Scan Sync

Option for synchronizing scan lines to external timing signal

3) Standard deviation one sigma @ 250 m range under RIEGL test conditions.

4) Accuracy is the degree of conformity of a measured quantity to its actual (true) value.

5) Precision, also called reproducibility or repeatability, is

the degree to which further measurements show the same result.

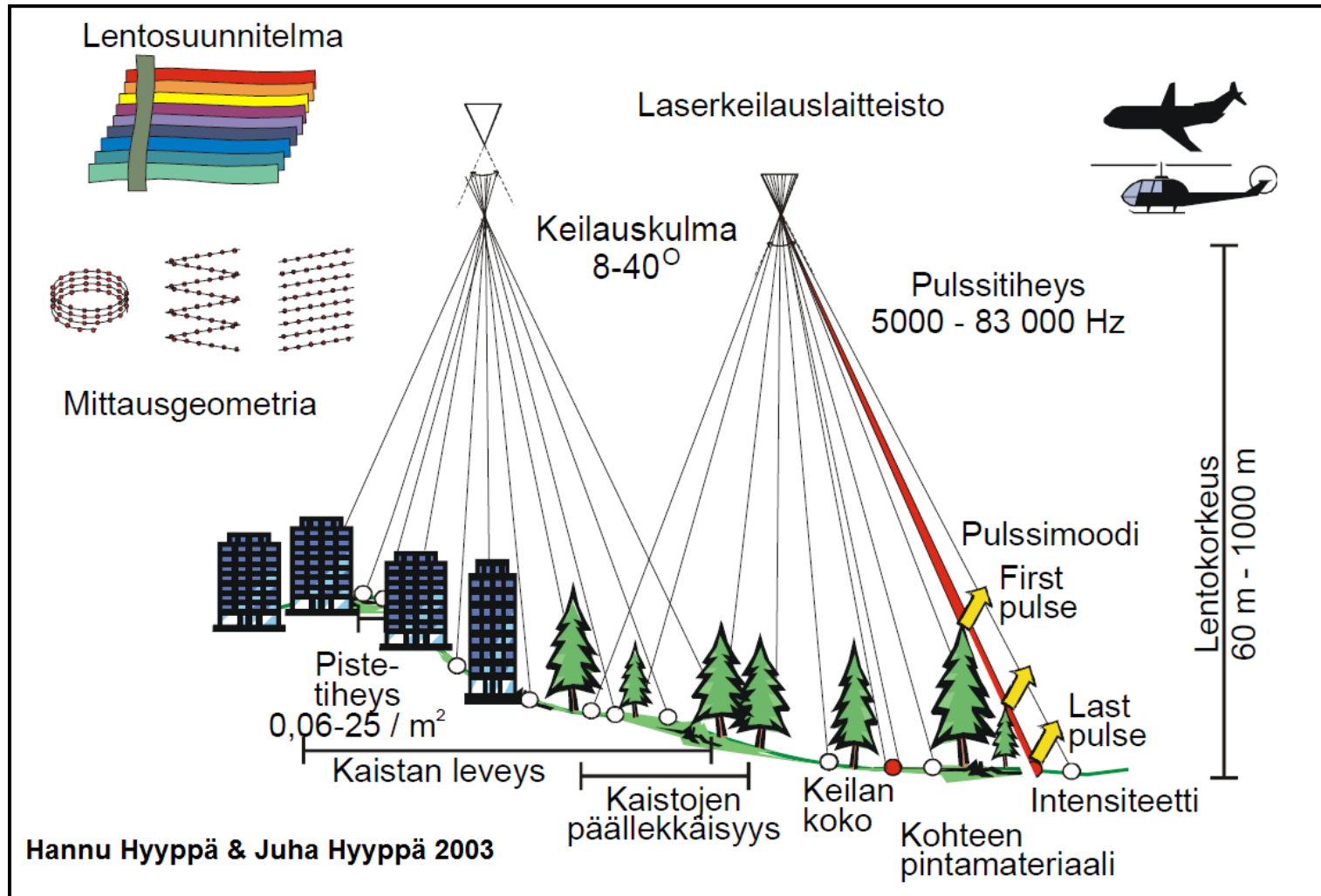
6) User selectable

7) 0,5 mrad correspond to 50 cm increase of beam width per 1000 m distance

8) Practically limited only by the maximum data rate allowed for the RIEGL Data Recorder

9) Minimum angle step width increasing linearly to 0,01° @ 80000 Hz laser pulse repetition rate

Laserkeilauksen laadun osatekijät

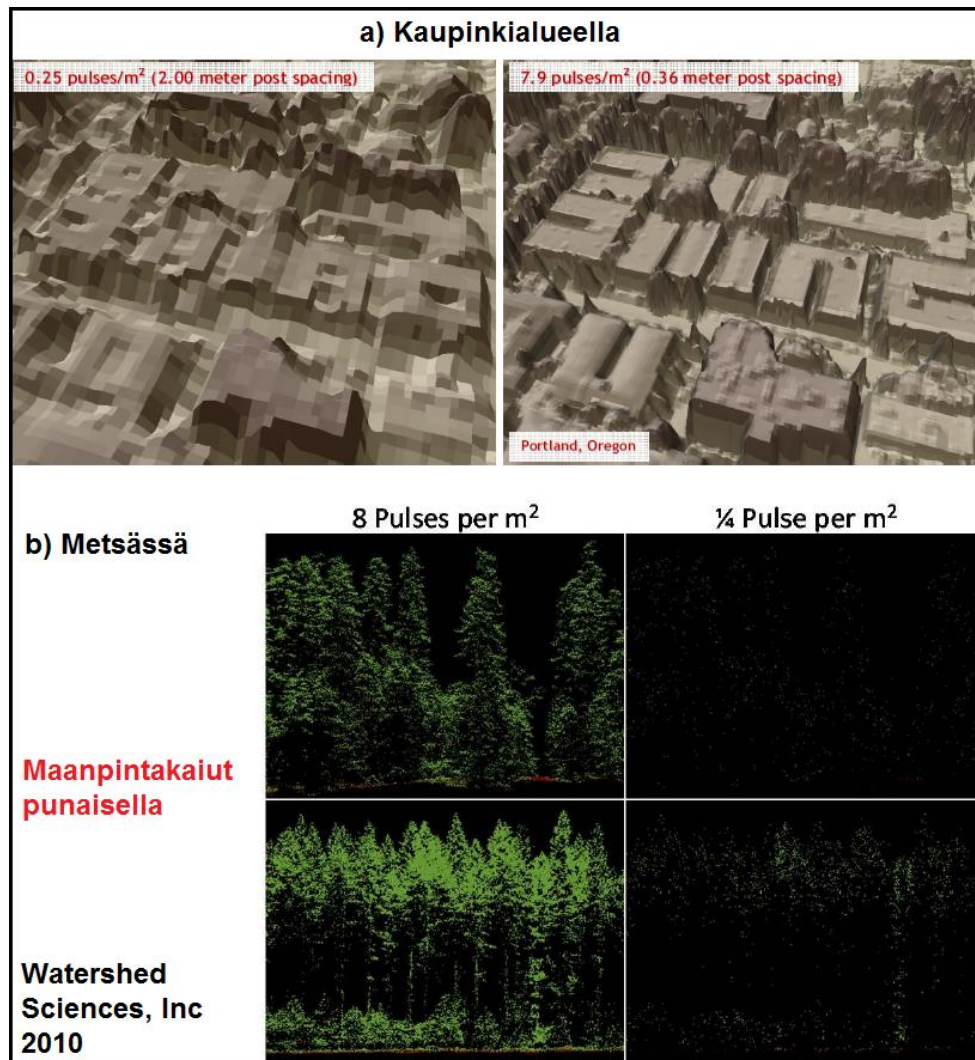


Pistetiheyden merkitys

Pistetiheys on tärkeä suunnitteluparametri, kun ajatellaan laserkeilauksen sovelluksia.

Viereiset kuvat havainnollistavat pistetiheyden merkitystä kohteessa nähtävien yksityiskohtien kannalta.

Peitteisillä alueilla suuri pistetiheys varmistaa riittävän määrän maanpintakaikuja.



Eräitä pistetiheyssuosituksia

Suomen kuntaliiton ohjeissa edellytetään seuraavia pistetiheyksiä. Suunnittelussa on syytä käyttää riittävää varmuuskerrointa, joka voi olla 1.1-1.5. Hyötyavauskulma on alue, jolta dataa toimitetaan tilaajalle:

Mittaus-luokka	Pistettä / neliömetri	Kuvien GSD (cm)	Korkeus-tarkkuus (cm)	Jalanjälki (cm)	Suurin hyötyavaus-kulma (°)
1 e / maastomalli	20	5	5	15	40
1	15	10	5	25	40
2	10	15	10	30	60

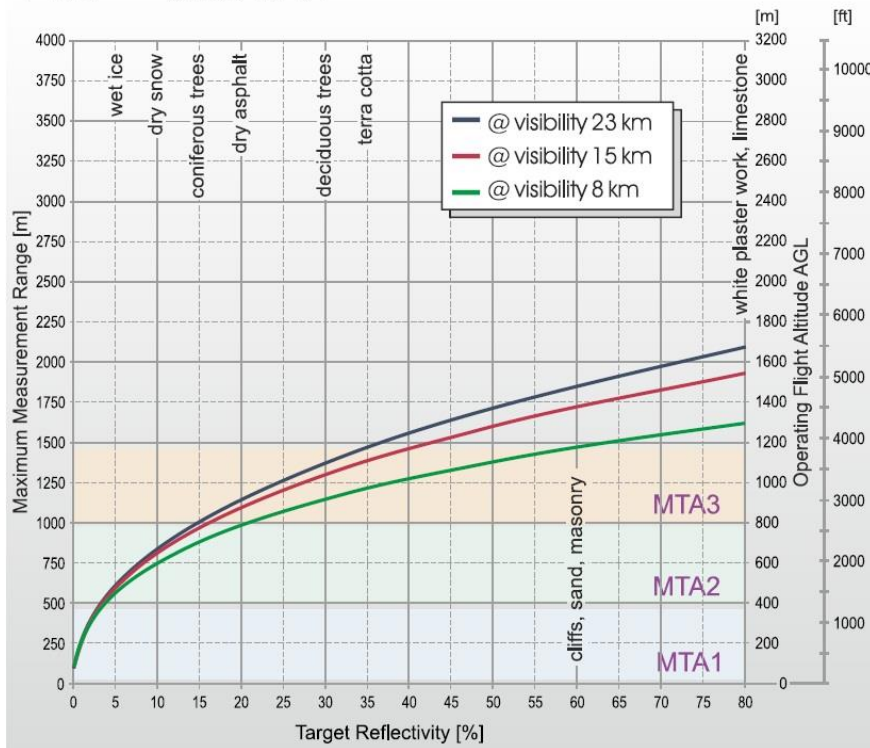
Korkeusmallikuvauksissa pistetiheyden sääntönä voi olla yhden metrin pisteväli jokaiselle puolen metrin korkeuskäyrävälille. Tämä vastaa pistetiheyttä yksi piste/neliömetri. Kahden metrin korkeuskäyrävälille riittää neljän metrin pisteväli, mikä tarkoittaa $1/16 = 0.063$ pistettä/neliömetri.

Keilauksen suunnittelu

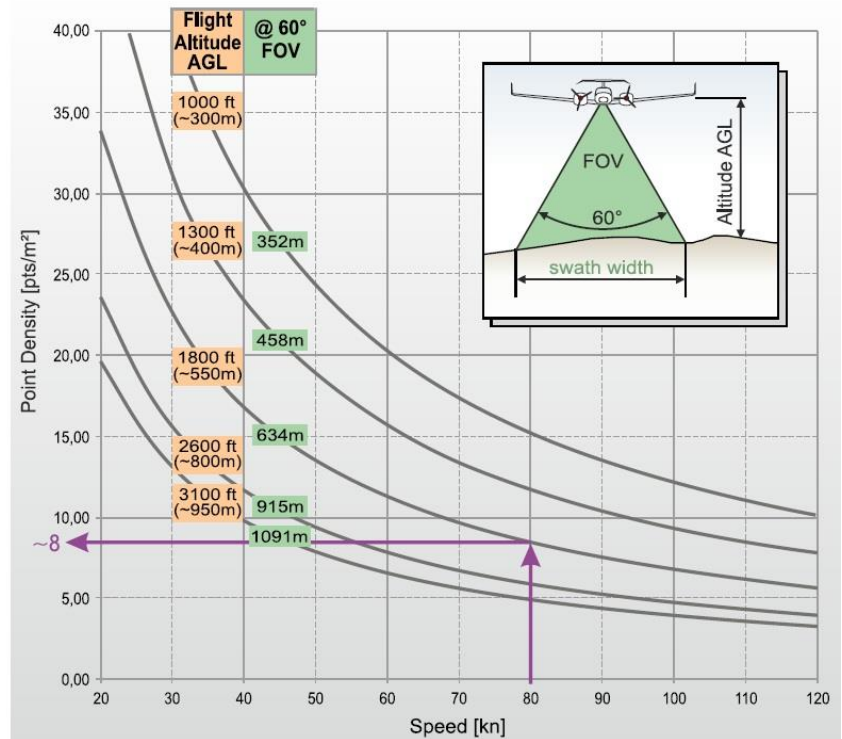
Keilauslennon suunnittelussa tarvitaan kohtuullisen paljon matematiikkaa, joka kuvaa keilaimen teknisten ominaisuuksien ja kuvauslennon toteutusta kuvaavien suureiden välisiä yhteyksiä. Keilauslennon suunnittelun tekee yleensä lennon suorittaja.

Example: Q680i at 300,000 pulses/second
Altitude = 1800ft AGL, Speed = 80 kn
Resulting Point Density ~ 8 pts/m²

PRR = 300 kHz



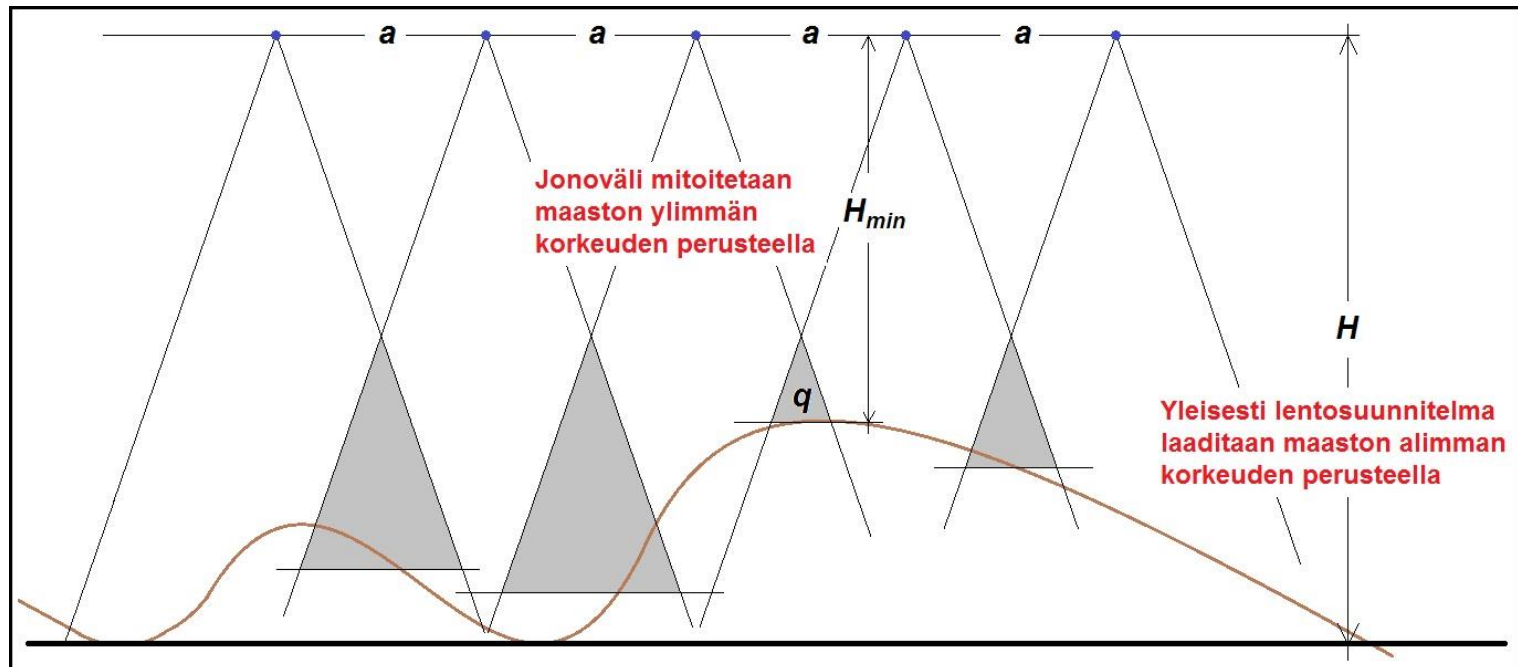
PRR = 300 kHz



Lentosuunnitelma

Yleisimmin lentosuunnitelma laaditaan maaston alimman korkeuden perusteella. Kuitenkin jonoväli mitoitetaan maaston ylimmän korkeuden perusteella, jotta vaadittu sivupeitto toteutuu koko kuvausalueella.

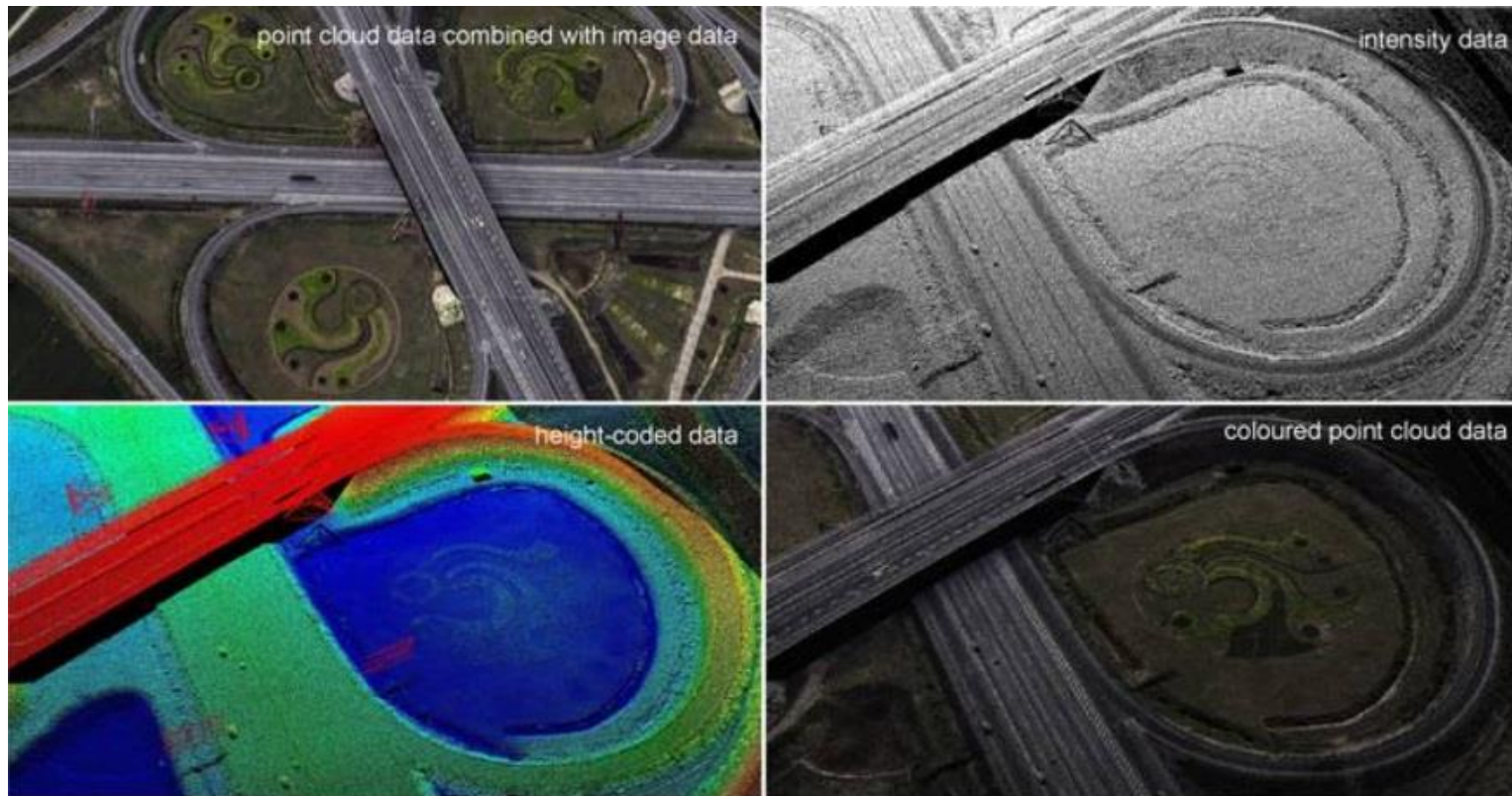
Kiinteäsiipisiä lentokoneita käytetään suurten alueiden kuvauksissa. Helikopterit sopivat pienille ja väylämäisille kuvauskohteille. Pienissä kohteissa on jo mahdollista käyttää miehittämättömiä lentolaitteita.



Joitakin suunnitteluperiaatteita

- Suunnittelun aluksi mittausalueeseen tulee perehtyä (sää, maaston muodot, korkeuserot, peitteisyys)
- Suuret mittausalueet (> 200 neliökm) jaetaan osiin ja osille laaditaan omat kuvaussuunnitelmat, jotka peittävät toisiaan 20-30 %
- Jos käytetään omaa tukiasemaa, keilausjonojen pituuteen vaikuttaa etäisyys tukiasemaan, mikä ei saa ylittää 30 km
- Keilausta ei saa suorittaa sateen aikana tai välittömästi sateen jälkeen
- Jos keilauksen yhteydessä tehdään ilmakekuvaus, pitää noudattaa ilmakekuvauksen olosuhdevaatimuksia
- Jos rinnakkaisten jonojen lisäksi lennetään poikittaisjonoja, voidaan osa keilaimen systemaattisista virheistä korjata

Mittautulosten esitysmuotoja



Highway construction project in China, Baoding City: data acquired by CP560 at flight heights of 250m and 700m with a Bell 206B at speed of 120 km/h - astonishing quality of 3cm elevation and 7cm horizontal accuracy

 RIEGL - Gallery

 <http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/gallery/>

Keilainaineistojen jälkikäsittely

Laserkeilain mittaa kohdetta kuvaavan pistepilven ja intensiteettikuvan.

Mittaustietoja käsittelemällä ja luokittelemalla kohteesta voidaan muodostaa yksityiskohtainen digitaalinen malli, jossa maanpinta, vesialueet, kasvusto ja rakennettu ympäristö erotellaan toisistaan.

Mittausten jälkikäsittelyssä ja tulosten visualisoinnissa hyödynnetään myös valokuvia.

Valokuvat voidaan ottaa keilauksen yhteydessä, mutta myös eri aikaan otettuja kuvia voidaan käyttää.



Kirjallisuutta

- Alberts, J. 2007. Einführung in die Fernerkundung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Baltsavias, E. P. 1999. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 (1999) 199-214.
- Groves, P. 2008. Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems. Artech House, Bondon.
- Holopainen, M., Hyypä, J. & Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 5.
- Lampinen, J. 2011. Laserkeilauksen hyödyntäminen kunnan suunnittelu- ja mittaus toiminnassa. Opinnäytetyö. RAMK, Rovaniemi.
- Ruuskanen, S. 2010. Ilmasta käsin suoritettavan laserkeilaushankkeen prosessikuvaus konsulttiyrityksessä. Opinnäytetyö. Metropolia, Helsinki.
- Vosselman, G. & Maas, H. 2010. Airborne and terrestrial laser scanning. Whittles Publishing, Dunbeath.