

KARTOITUSLENNOKILLA TEHTÄVÄN KUVAUKSEN SUUNNITTELU



Pasi Laurila / Lapin AMK 12.9.2019

Aluksi

Kartoitusilmakuvaukset

- Kartoitusilmakuvausten avulla tuotetaan ilmavalokuvia mittamalla digitaalisia karttoja, pistepilviaineistoja, ortokuvia, maastomalleja, kaupunkimalleja ja ympäristömalleja
- Laaja-alaiset kartoitusilmakuvaukset tehdään **suuriformaattisilla ilmakuvuskameroilla lentokoneesta**, esimerkiksi:
 - tiedonkeruu maanmittauslaitoksen maastotietokantaan: perusparannus ja ajantasaistus
 - suurikaavainen kartoitus: kaavan pohjakartta ja tiesuunnittelun kartat
- Pienialaisia kartoitusilmakuvauksia ja erityiskohteita mitataan lennökkikuvauksin (UAV, UAS, RPAS, drone)
- Lennökkikuvauksissa käytetään **pieniformaattisia kameroita**
- Valokuvilta tehtävät mittaukset ovat yleisnimityksenä **fotogrammetrisia mittauksia**

Fotogrammetrinen mittaus

Fotogrammetrinen mittaus on valokuvien perusteella tehtävää kolmiulotteista mittausta.

Kolmiulotteista mittausta sanotaan **stereomittaukseksi**.

Mitattavien kohteiden tulee näkyä ainakin kahdella vierekkäisellä kuvalla.

Kuvien yhteistä peittoaluetta kutsutaan **stereomalliksi**.

Mittaus edellyttää kuvien **sisäistä, keskinäistä ja ulkoista orientointia**.

Orientoinnit tehdään **fotogrammetrisella pistetihennyksellä**.

Kartoitusilmakuvaukset tehdään **pystykuvuksina**: kameran kuvausakseli on pystysuorassa.



Esimerkkilaitteisto

**Tämän esityksen numeroesimerkit
Liittyvät seuraavaan laitteistoon**

GeoDrone X4L –ortokopteri:

- manuaalinen nousu ja laskeutuminen
- automaattinen kuvauslento
- lentoaika yhdellä akulla 38 min
- lentonopeus 22 km/h
- maksimituuli 8 m/s, puuskissa 12 m/s

Digitaalinen kamera Sony Alpha 6000:

- kuvaelementti $6000 \times 4000 = 24$ MP
- kameran resoluutio $4 \mu\text{m}$
- kuvaelementin fyysinen koko $23.5 \text{ mm} \times 15.6 \text{ mm}$
- kiinteä polttoväli 20 mm
- kuvanottotiheys 11 kuvaa/s



Mittausohjelmistot

- Kartoitusilmakuvausten suunnittelu, lennon ohjaus ja kuvien prosessointi tehdään tietokoneohjelmilla
- Lennon suunnitteluperiaatteet pitää tuntea, että pystyy antamaan suunnitteluohjelmalle mielekkäät laskentaparametrit, ja arvioimaan suunnitelman mittausteknisen laadun
- Kuvien prosessointi tapahtuu vähintään puoliautomaattisesti
- Prosessoinnin kulku pitää tuntea, jotta pystyy ohjelmia käyttämään ja tuloksia arvioimaan

Pystyilmakuvauksen peruskäsitteet

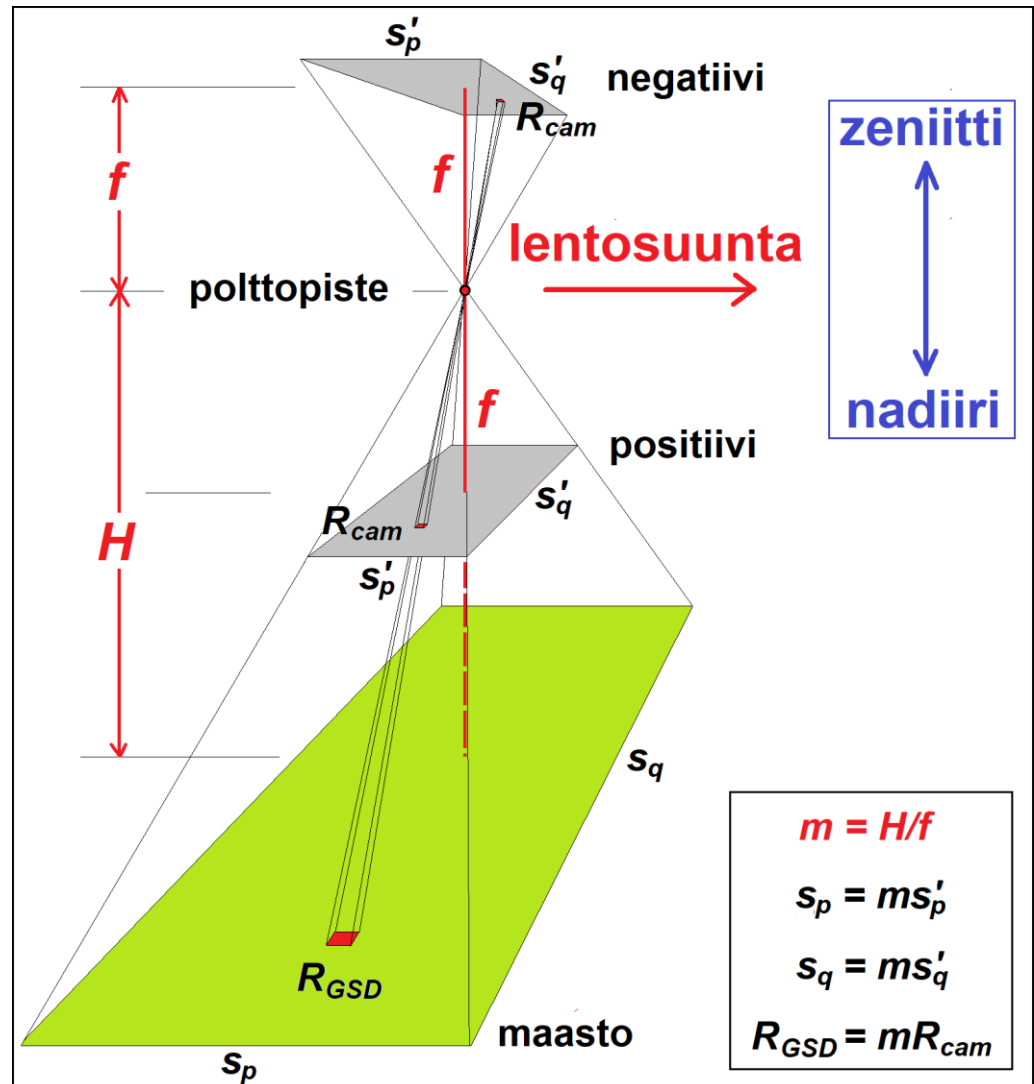
Pystyilmakuvaus

Kameran kuvausakseli on pystysuorassa ja kuvataso vaakasuorassa.

**Kamera asemoidaan
lennokkiin, niin että kuva-
elementin lyhyempi sivu
osoittaa lentosuuntaan.**

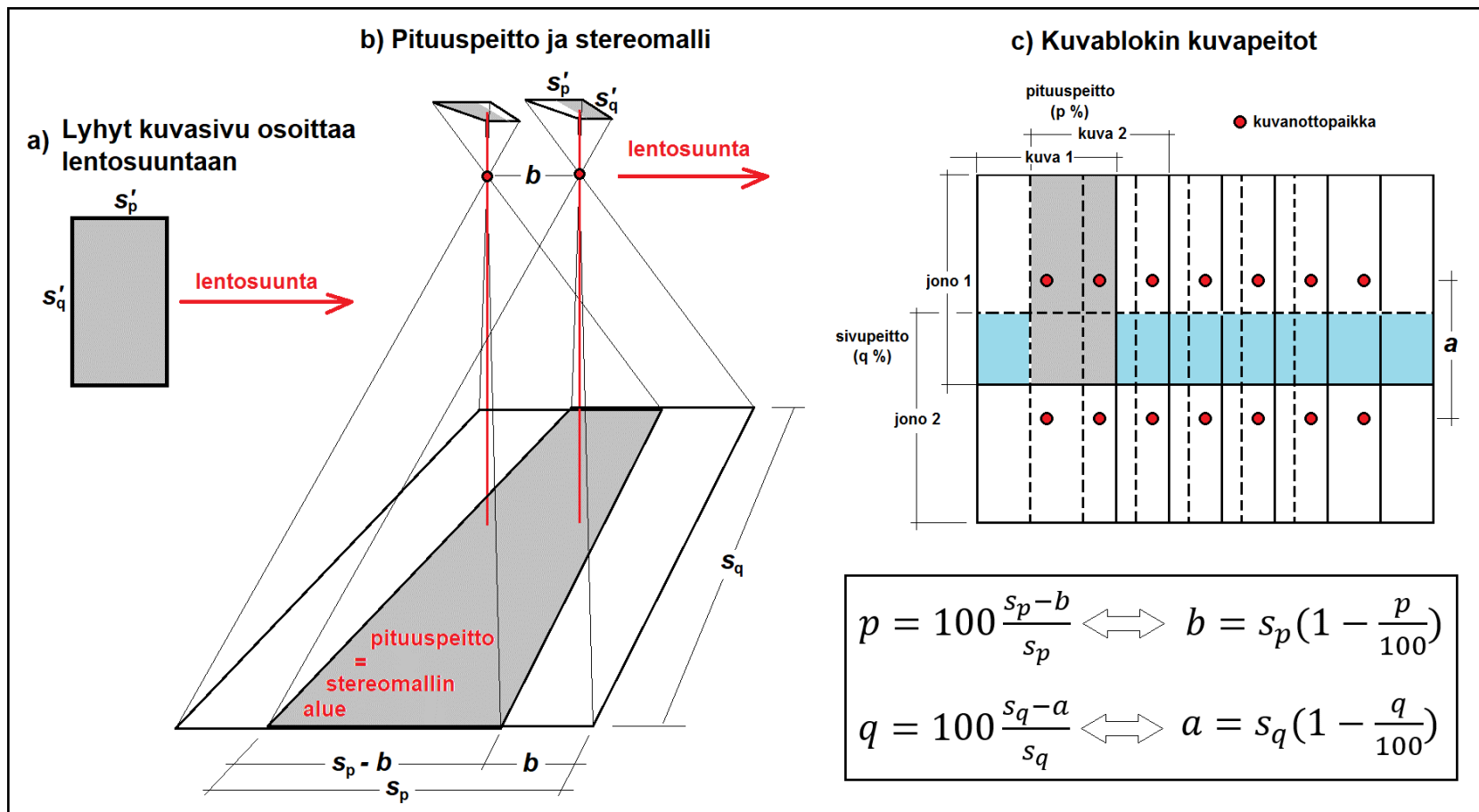
Lentokorkeus valitaan sellaiseksi, että saavutetaan haluttu maastorotuskyky (GSD).

Lentokorkeudelle säädettyt rajoitteet pitää huomioida.



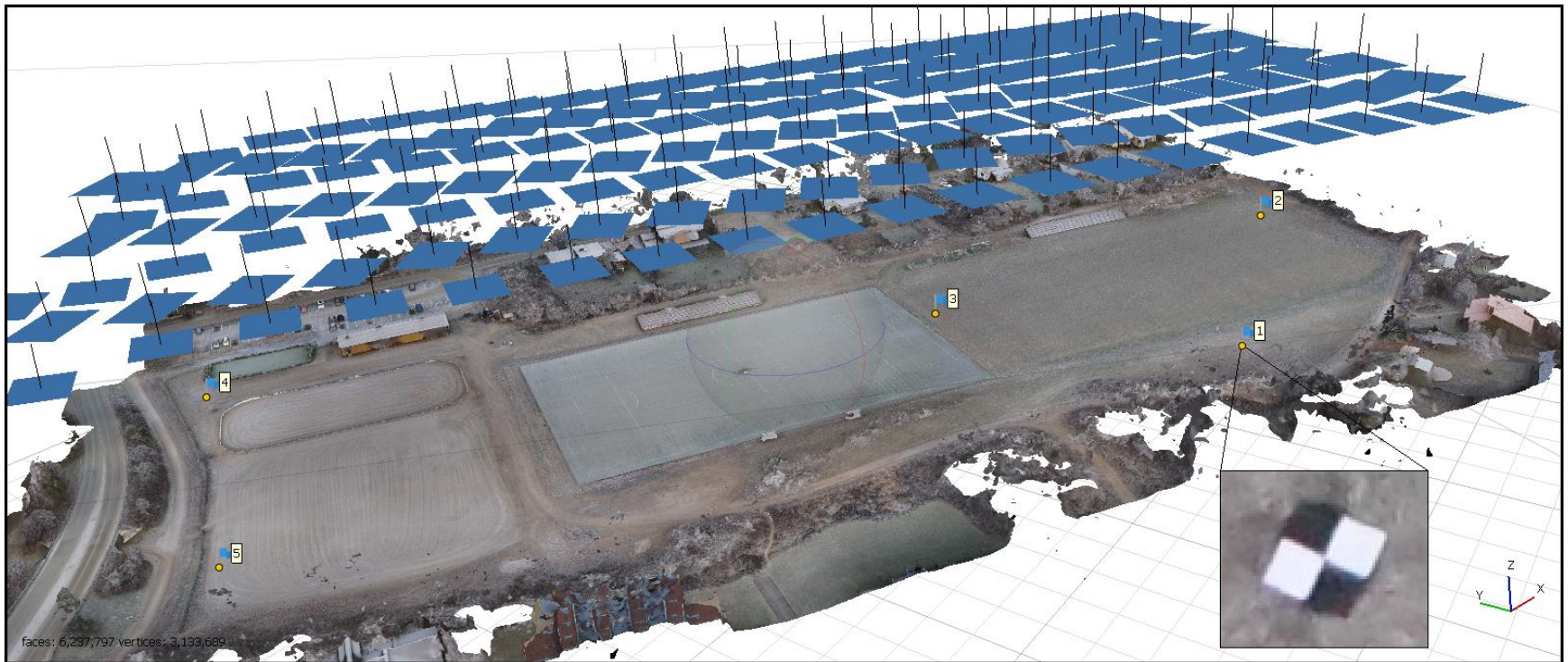
Kuvapeitot

Kartoitusilmakuvaus tehdään lentämällä yhdensuuntaisia lentojonoja. Lento-suunnassa peräkkäisillä kuvilla pitää olla yhteistä kuva-alaa, **pituuspeittoa**, 60-90 %. Vierekkäisillä jonoilla pitää olla yhteistä kuva-alaa, **sivupeattoa**, 30-80 %.



Ilmakuvaus tuottaa kuvablokin

Kuvaus tuottaa mahdollisimman säännöllisistä kuvausjonoista muodostuvan kuvablokin, johon voi kuulua tuhansia kuvia. Kaikki kuvat prosessoidaan samassa laskennassa, jonka tuloksena saadaan **orientoidut yksittäiskuvat**, stereomallialueen **fotogrammetrinen pistepilvi** ja **ortokuva**.

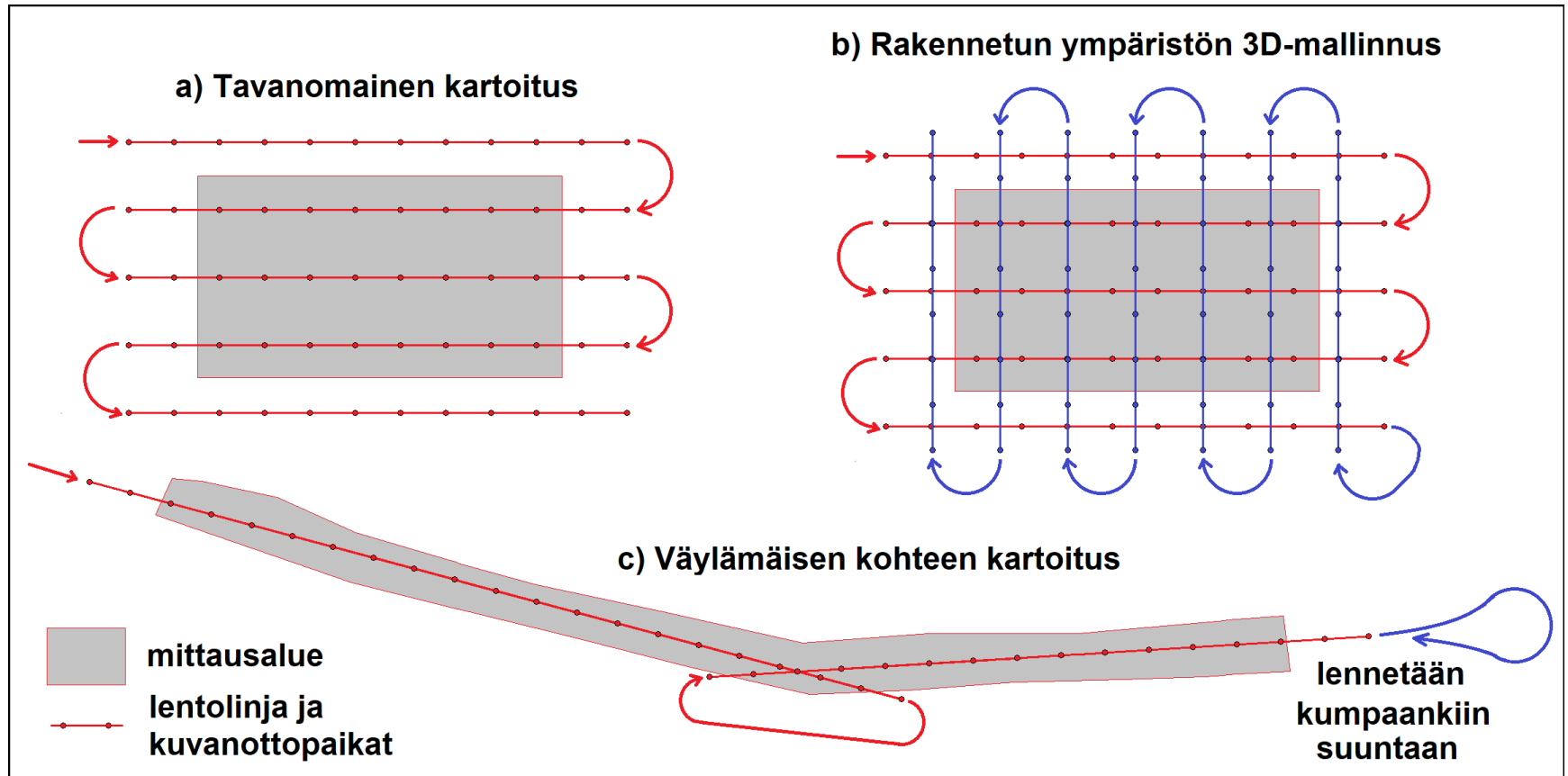


Syksyllä 2018 kuvattu Susivoudin kuvablokki. Oikeassa reunassa signaloitu lähtöpiste.

Kuvauslennon suunnittelu

Kuvauksen käyttötarkoitus

Kuvauksella on jokin käyttötarkoitus, esimerkiksi kartta, maastomalli, tilavuuksien määrittäminen, ortokuva, 3D-malli. Käyttötarkoituksen perusteella asetetaan jokin **tavoitetarkkuus**, maastoresoluutio (**GSD**, Ground Sampling Distance).



Kuvausalueen olosuhteet ja mitat

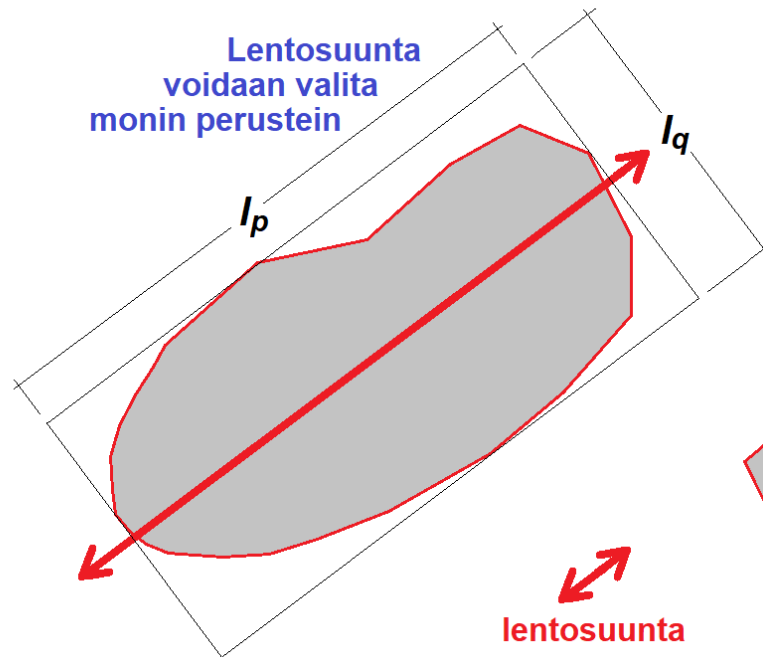
Kuvausalueen olosuhteet pitää selvittää etukäteen ja lennätyksen turvallisuusnäkökohdat tulee huomioida. Mittausalue pitää rajata, lentosuunta valita, ja laaja alue jakaa osa-alueisiin. Kuvausajankohta valitaan säävarauksella. Kuvata voidaan pilvisenäkin päivänä, mutta näkyvyyttä pitää olla.

a) Lennon kohde

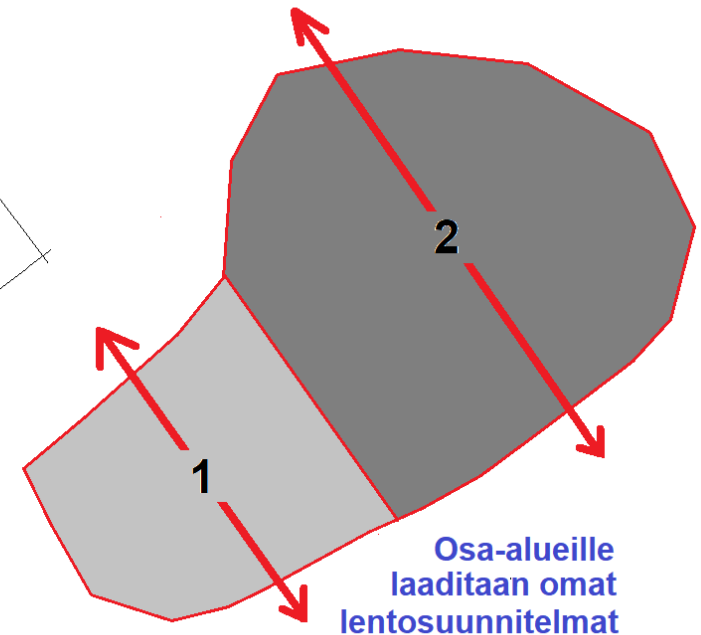


Peitteisyys
Korkeuserot
Näkyvyys ilmatilaan
Lennon maa-asema
Etäisyys lennokkiin
< 500 m

b) Alueen mitat ja lentosuunta



c) Alueen jako osa-alueisiin



Neliökilometrin kartoitusilmakuvaus

Kamera Sony Alpha 6000

H / m	p = 80 % ja q = 60 %		p = 70 % ja q = 50 %	
	n / kpl	S / km	n / kpl	S / km
150	740	17	410	14
120	1080	20	620	17
100	1560	24	870	20
80	2350	29	1310	24
50	5800	45	3200	37

H = lentokorkeus, p = pituuspeitto, q = sivupeitto, n = blokin kuvien lukumäärä
ja S = lennettävä matka

**Kuvapeitoilla on suuri vaikutus kuvien ja lentokilometrien määrään.
Riittävistä kuvapeitoista ei kuitenkaan pidä tinkiä.**

Kuvaukselle säädetyt rajoitukset

Lainsäädännön ja viranomaisten säätämät rajoitukset kuvaukselle pitää huomioida.

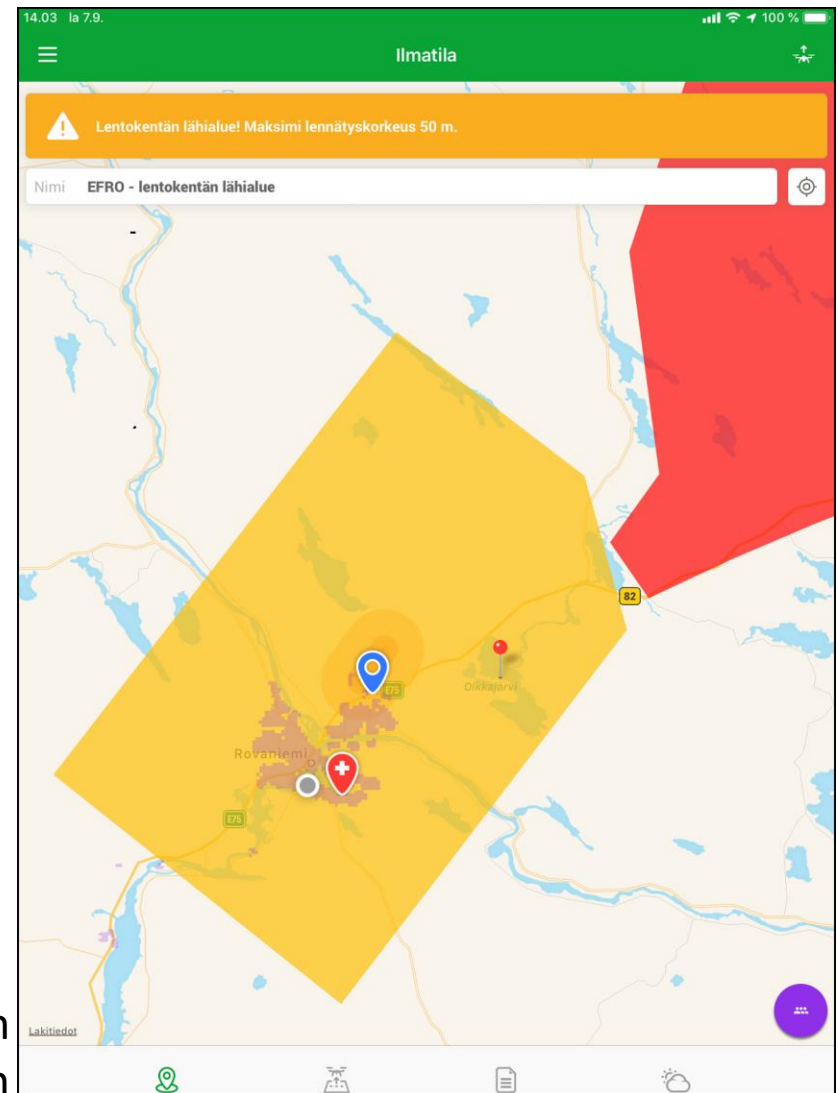
Lennokkiin on oltava koko ajan **suora näköyhteys**.

Lennätyskorkeus saa olla enintään 150 m, 1.7.2020 alkaen enintään 120 m.

Lentoasemien lähialueilla pitää olla yhteydessä lennonjohtoon, ja mahdollisesti lennätykselle tarvitaan lupa.

Lennätyksistä on pidettävä **lentopäiväkirjaa**.

Kuvassa on Droneinfo-sovelluksen näkymä Rovaniemen ilmatilaan



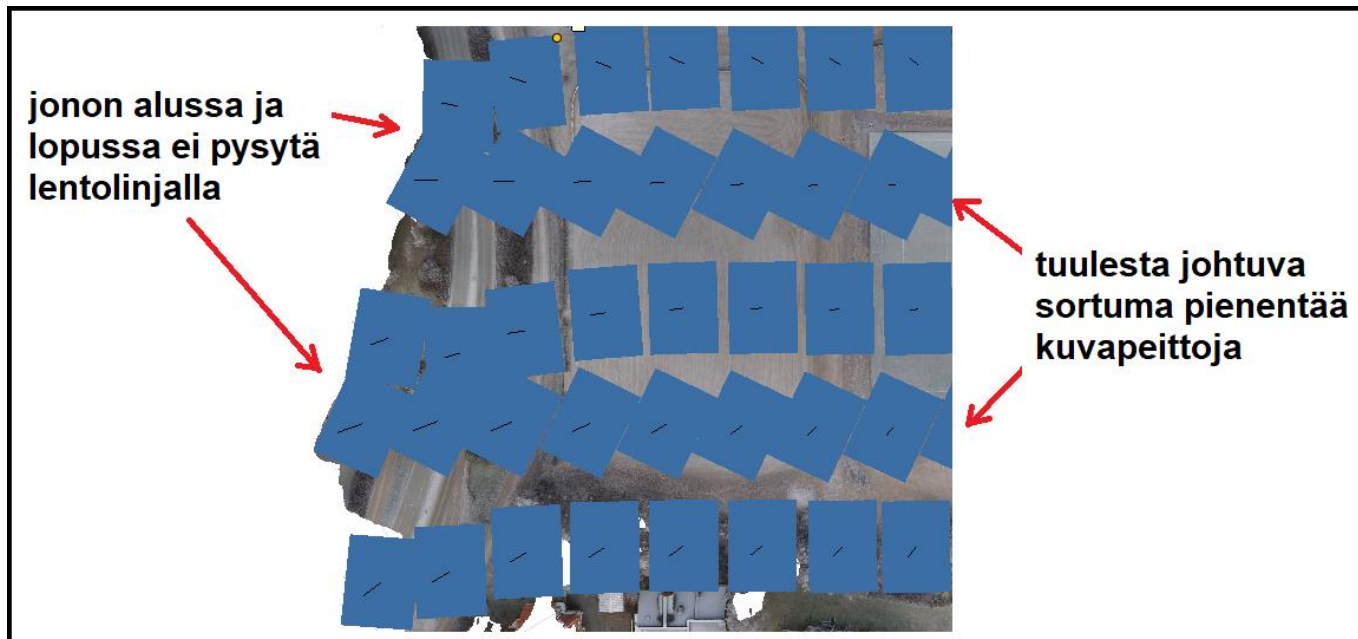
Kuvapeittojen pitää olla suuria

- Lentokoneesta tehtävien suuriformaattisten ilmakuvausten yhteydessä pituuspeiton pitää olla vähintään 60 % ja sivupeiton 30 %
- Lennokkikuvauksissa pitää käyttää edellistä suurempia kuvapeittoja, **pituuspeitto noin 80 %** ja **sivupeitto noin 60 %**, koska:
 - Kartoituslennokissa asennonsäätö on epätarkempaa kuin lentokoneessa
 - Kamera on yleensä kalibroimaton, ja se pitää kalibroida laskennassa lisäparametreja käyttäen
 - Alhaalta, alle 100 m kuvattaessa, kuvausalueen korkeusvaihtelut pienentävät todellisia kuvapeittoja
 - Automaattiset laskentaprosessit toimivat parhaiten suurilla kuvapeitoilla
- **Missään tilanteessa kuvapeitot eivät saisi alittaa lentokoneesta tehtävien ilmakuvausten minimipeittoja**

Kuvablokin ongelmakohtia

Lennokkikuvauksissa kuvajonojen ensimmäiset ja viimeiset kuvat eivät aina osu lentolinjalle. Tämän vuoksi pitää jonojen alussa ja lopussa ottaa ylimääräisiä kuvia.

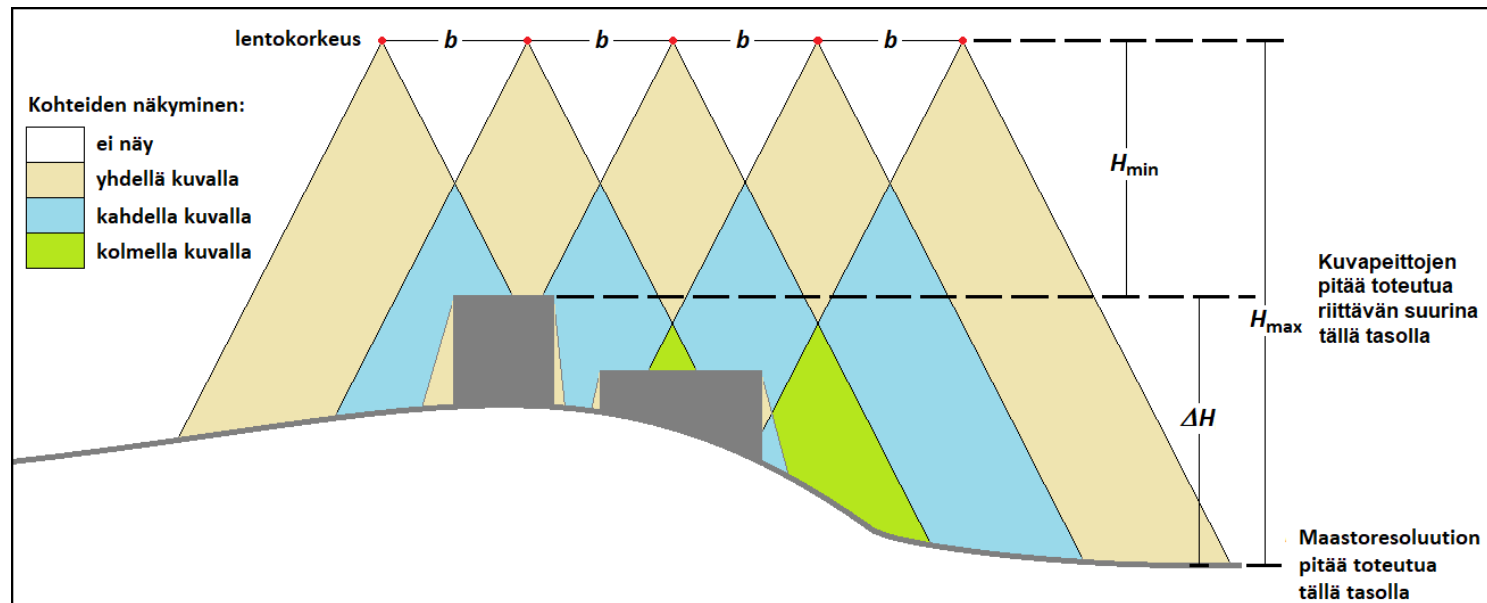
Tuulesta ja **ohjausautomaatiikan** (GNSS, INS) epätarkkkuuksista johtuva **sortuma** ja kameran **asentovirheet** pienentävät suunniteltuja kuvapeittoja.



Korkeusvaihtelut huomioitava

Kun kuvaus mitoitetaan maasto alimman korkeustason mukaan, toteutuvat kuvapeitot ylemmillä korkeustasoilla suunniteltua pienempiä. Alla olevaan taulukkoon on laskettu, millä korkeustasolla pituuspeitto alittaa 60 % ja sivupeitto 30 %.

Lennon ohjausautomaatiikka saattaa säätää lentokorkeutta korkeusvaihteluiden mukaan.



	H_{max} / m	$p = 80 \%$ ja $q = 60 \%$	$p = 70 \%$ ja $q = 50 \%$
Kamera Sony Alpha 6000	80	$\Delta H = 34$ m	$\Delta H = 20$ m
	50	$\Delta H = 22$ m	$\Delta H = 12$ m

GNSS ja INS

Lentoa ohjataan erilaisten mittausantureiden (GNSS, INS, kompassi, magnetometri, barometri) avulla. Päätekniikat ovat GNSS ja INS.

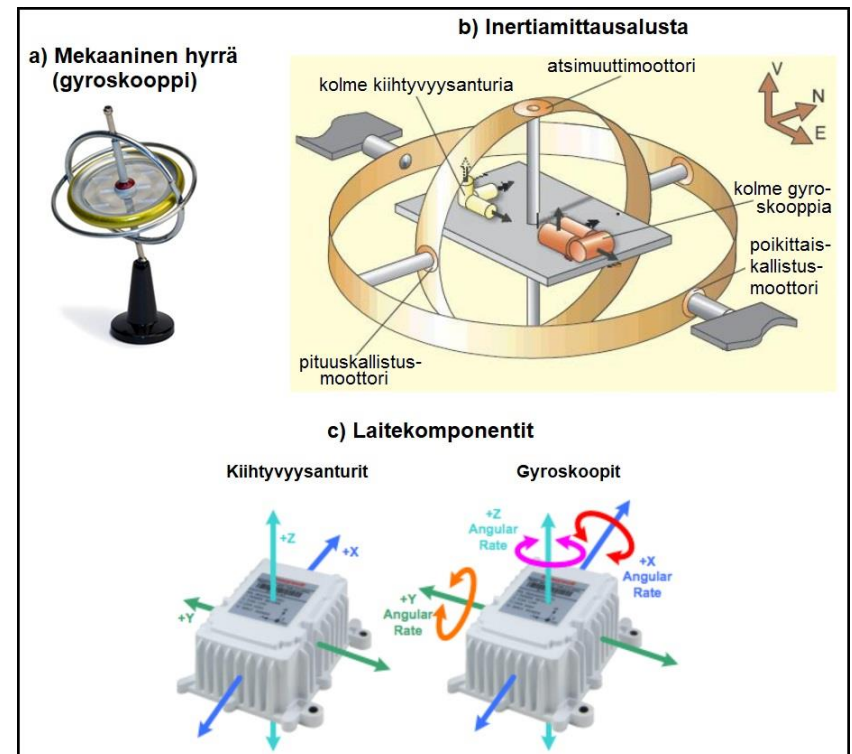
Inertiamittauksen (INS) kiihtyvyysanturit ja gyroskoopit ovat yleensä hyvin pieniä MEMS-antureita (microelectromechanical systems).

Pienet anturit sopivat lennokkeihin, mutta pieni koko tarkoittaa myös huonohkoa tarkkuutta.

Lennokin ohjauksessa GNSS-tarkkuus on usein absoluuttisen paikannuksen metri-luokan tarkkuutta. Asentoanturien tarkkuus on muutamia asteita. Asentoantureille on tyypillistä virheiden kasvu ajan kuluessa.

Inertia = hitaus, jatkuvuus, vitka

Inertiamittauksen (INS) anturit, kiihtyvyysanturit ja gyroskoopit, mittaavat sijainnin ja asennon muutoksia, eivät absoluuttista paikkaa ja asentoa.



Lähtöpisteet ja signalointi

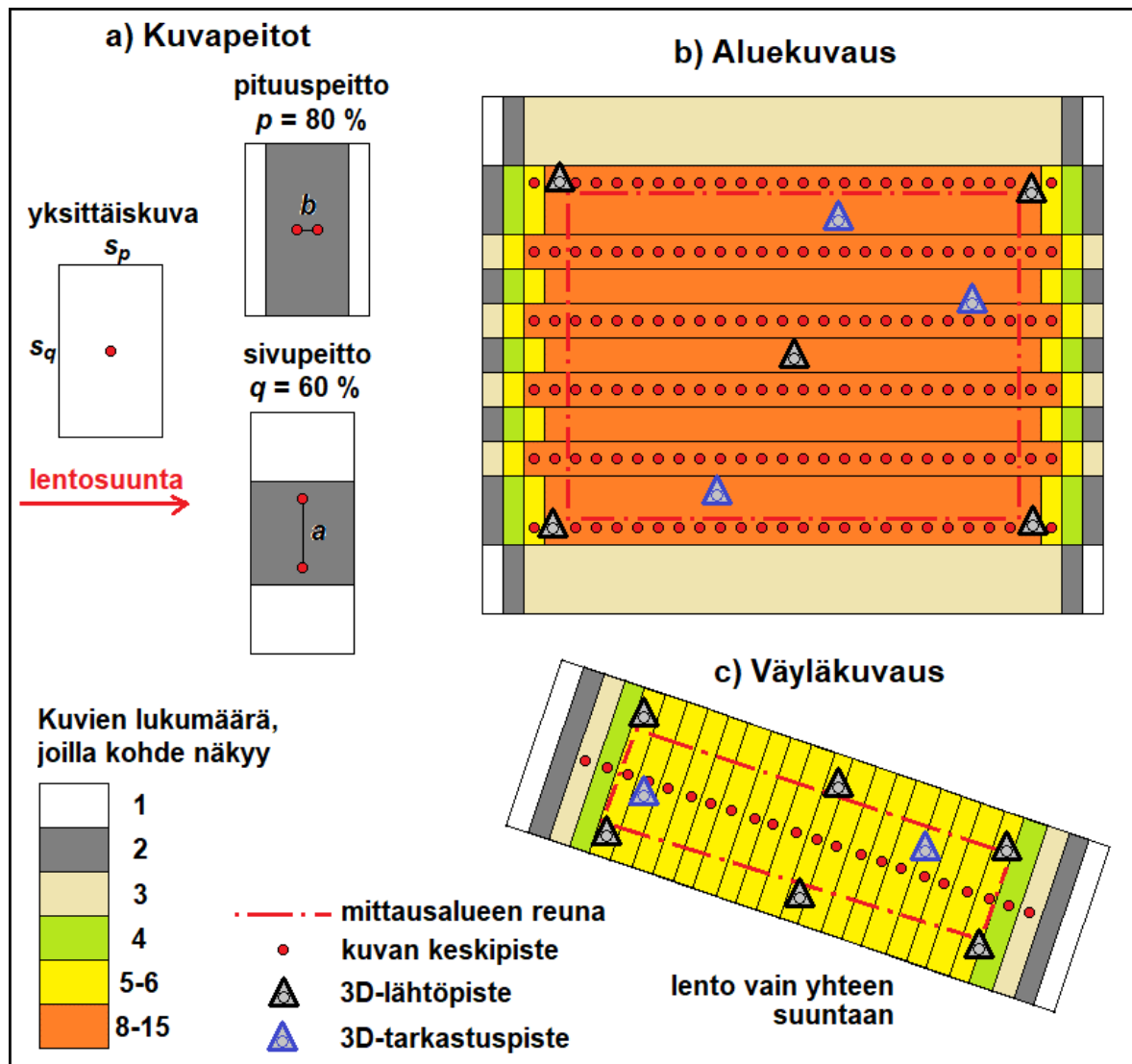
Lähtö- ja tarkastuspisteet

Kun kuvausta ohjataan GNSS- ja INS-havaintojen perusteella, saadaan kuvablokki mittaus-tarkkuuden mukaisesti koordinaatistoon.

On kuitenkin **suositeltavaa käyttää lähtöpisteitä**. Ne mahdollistavat halutun tarkkuuden, ja eri tekniikoilla mitattujen aineistojen yhdistämisen.

Osa lähtöpisteistä on hyvä määritellä **tarkastuspisteiksi**.

Mittausalueen tulee jäädä **lähtöpisteiden sisään**. Tämän lähtöpisteitä tulee olla **ainakin neljä** kappaletta.



Signalointi

Lennokkikuvauksen lähtöpisteet ovat yleensä väliaikaisia pisteitä. Ne tehdään ja mitataan välittömästi ennen lentoa. Lähtöpisteinä voidaan käyttää myös helposti erottuvia, pistemäisiä ympäristön kohteita. Tällöin ne voidaan mitata lennon jälkeenkin.

a) Asfalttiin maalattu risti

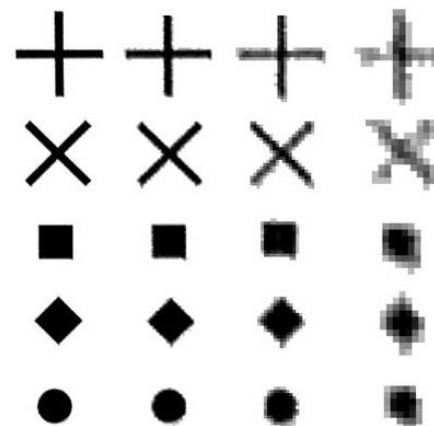


b) Siirrettävä signaalikangas



c) Signaalimuodot ja erotuskyky

maastoerotuskyky (GSD)
heikkenee



**Signaalin koon tulisi
olla (5 ... 10) x GSD**

Lähteet

Kirjat ja lehdet

- Aber, J. S., Marzoff, I. ja Ries, J. B. 2010. Small-format aerial photography – Principles, techniques and geoscience applications. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Armenakis, C. ja Patias, P. 2019. Unmanned vehicle systems for geomatics – Towards robotic mapping. Whittles Publishing, Dunbeath, UK.
- Hepke, C. (Hrsg.). Photogrammetrie und Fernerkundung. Springer-Spektrum, Berlin, Deutschland.
- Laurila, Pasi. 1990. Fotogrammetrisen pistetihennyksen laadunvalvonta laskennallisin menetelmin. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere.
- Luhmann, T. 2019. A measurement Technology in transition – Recent Developments in close-range photogrammetry. GIM International, Business Guide 2019, 14-19.

Internet

- Droneinfo.fi 2019. Etusivu, josta linkit lennokkien lennättämisen ja lentotyön ohjeisiin. Saatavilla: <https://www.droneinfo.fi/fi>. Luettu 12.9.2019
- Puolustusvoimat 2019. Ohje ilmakeuhkajalle. Saatavilla: <http://puolustusvoimat.fi/ilmakeuhauslupa> . Luettu 12.9.2019.
- Suomen Kuntaliiton ry 2019. Paikkatiedon opas. Sopimusmalleja paikkatiedon hankintaan. Saatavilla: <https://www.kuntaliitto.fi/tilastot-ja-julkaisut/verkko-opaat/paikkatiedon-opas/sopimusmalleja-paikkatiedon-hankintaan>. Luettu 12.9.2019.
- Traficom 2019. Koko EU:n kattavat drone-asetukset on julkistettu. Julkaistu 13.6.2019. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/koko-eun-kattavat-drone-asetukset-julkistettu>. Luettu 12.9.2019.