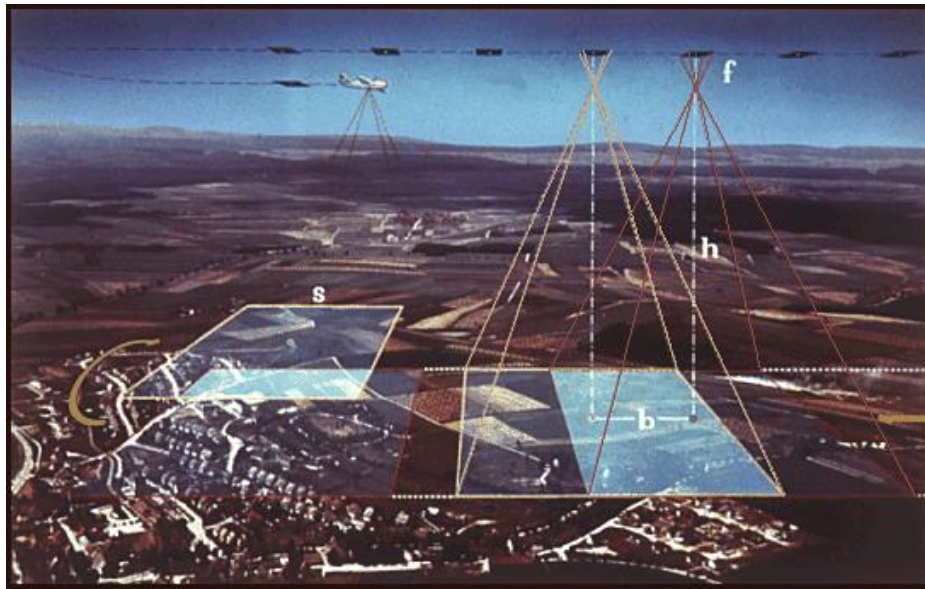




KARTOITUSILMAKUVAUSTEN SUUNNITTELU

Pasi Laurila

Lapin AMK

9.11.2017

Fotogrammetrinen kartoitusprosessi

Kartoitusilmakuvaukset

- Kartoitusilmakuvausten avulla tuotetaan ilmavalokuvia mittamalla digitaalista karttaa, maastomalleja, kaupunkimalleja ja ympäristömalleja:
 - Tiedonkeruu maanmittauslaitoksen maastotietokantaan: perusparannus ja ajantasaistus
 - Suurikaavainen kartoitus: kaavan pohjakartta ja tiesuunnittelun kartat
 - Ortokuvatuotanto
 - 3D-kaupunkimallinnus (LOD2-taso)
 - Maastomallimittaukset: rakentamisen suunnittelu ja massojen määrämittaukset
- Laaja-alaiset kartoitusilmakuvaukset tehdään **lentokoneesta**
- Kuvamittaukset ovat fotogrammetrisia mittauksia
- Samoja suunnittelu- ja mittausperiaatteita voidaan soveltaa myös lennokkikuvauksiin (UAV, UAS, RPAS, drone)

Fotogrammetrinen mittaus

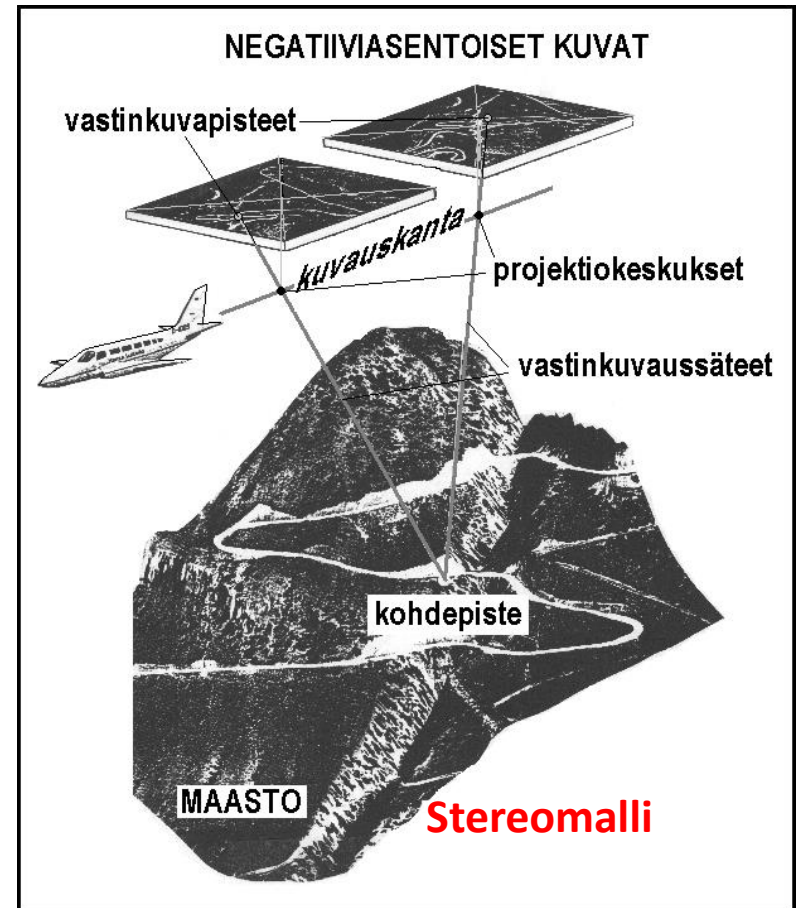
Fotogrammetrinen mittaus on valokuvien perusteella tehtävää kolmiulotteista mittausta

Kolmiulotteista mittausta sanotaan **stereomittaukseksi** tai **stereodigitoinniksi**

Mitattavien kohteiden tulee näkyä kahdella vierekkäisellä kuvalla

Kuvien yhteistä peittoaluetta kutsutaan stereomalliksi

Mittaus edellyttää kuvien keskinäistä ja ulkoista orientointia, mikä yleensä tehdään **fotogrammetrisen pistetiheyksen** yhteydessä

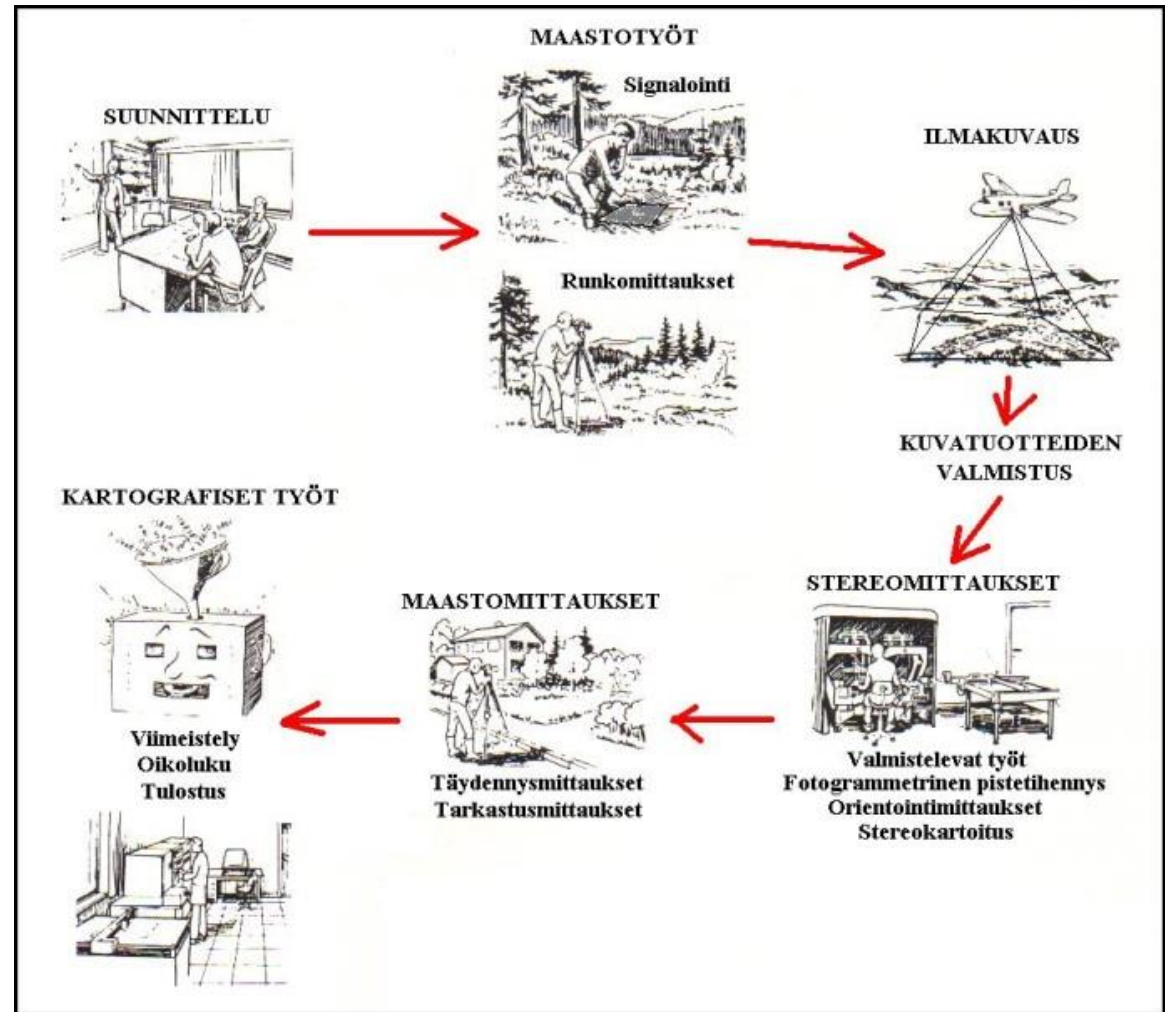


Fotogrammetrinen kartoitusprosessi

Kun halutaan tehdä kartoitusilmakuvaus, työ etenee vaiheittain, prosessina

Kuvassa on filmiajan fotogrammetrinen kartoitusprosessi, joka sopii yllättävän hyvin digitaalistenkin kuvausten aikaan

Digitaalinen kartoitusprosessi on osaksi automatisoitu

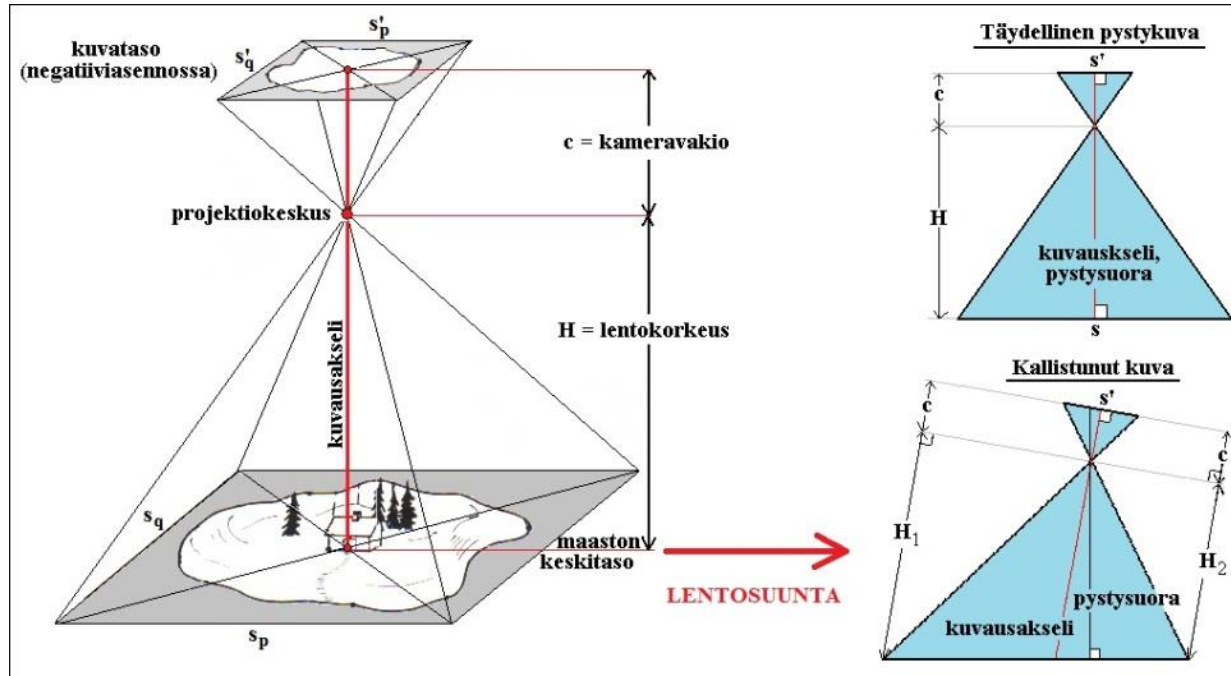


Digitalisoitu kartoitusprosessi

- Muutos perinteisestä filmikuvaukseen perustuvasta prosessista digitalisoituun kartoitusprosessiin näkyy lähinnä tekemisen tavassa ja prosessin osapuolten vastuissa
- Kuvausten yksityiskohtainen suunnittelu siirtyy tilaajalta kuvaajalle
- Signaalia tarvitaan, mutta **suorat georeferointimenetelmät (GNSS ja IMU)** vähentävät signaaliarvoa
- Kuvauksen tilaaja vastaa edelleen kuvausalueen kuvausvalmiudesta
- Filmien kehitystä ei tarvita, mutta tarvitaan **digitaalisia kuvankäsittely-toimia**
- Digitaalisina kuvatuotteina valmistetaan orientoidut yksittäiskuvat, korkeusmallit ja **ortokuvat**
- Stereodigitointi perustuu valmiiksi orientoituihin kuviin
- Kaksiulotteista tietoa voidaan mitata ortokuvilta, erityisesti karttojen ajantasaistuksen yhteydessä

Digitaalinen ilmakuvaus

Kartoitusilmakuvaukset suoritetaan pystykvauksena



Pystykuvaus eli nadiirikuvaus

Viistokuvauksia tehdään lähinnä visualisointi-tarkoituksessa

Perussuureet:

c = kameravakio eli polttoväli

H = lentokorkeus

m = kuvan mittakaavaluku

M = kuvan mittakaava

$$M = \frac{c}{H} = \frac{1}{m}$$
$$m = \frac{H}{c}$$

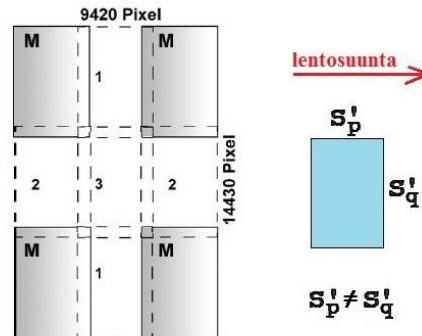
Digitaaliset kamerat

Ilmakuvaus Suomessa tehdään suuriformaattisilla digitaalisilla kameroilla, jotka ovat yleensä matriisikameroita

UltraCamX

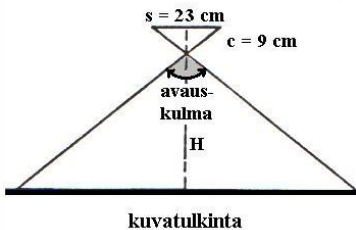


Digitaalinen matriisikamera

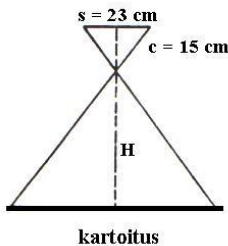


Perinteisten filmikameroiden käyttöalueet

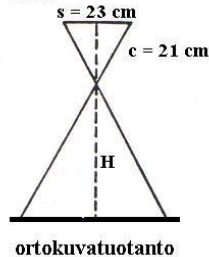
ylilaaajakulmakamera
tyyppikamera 9/23



laajakulmakamera
tyyppikamera 15/23



välikulmakamera
tyyppikamera 21/23



Vexel UltraCam -kameroiden ominaisuuksia

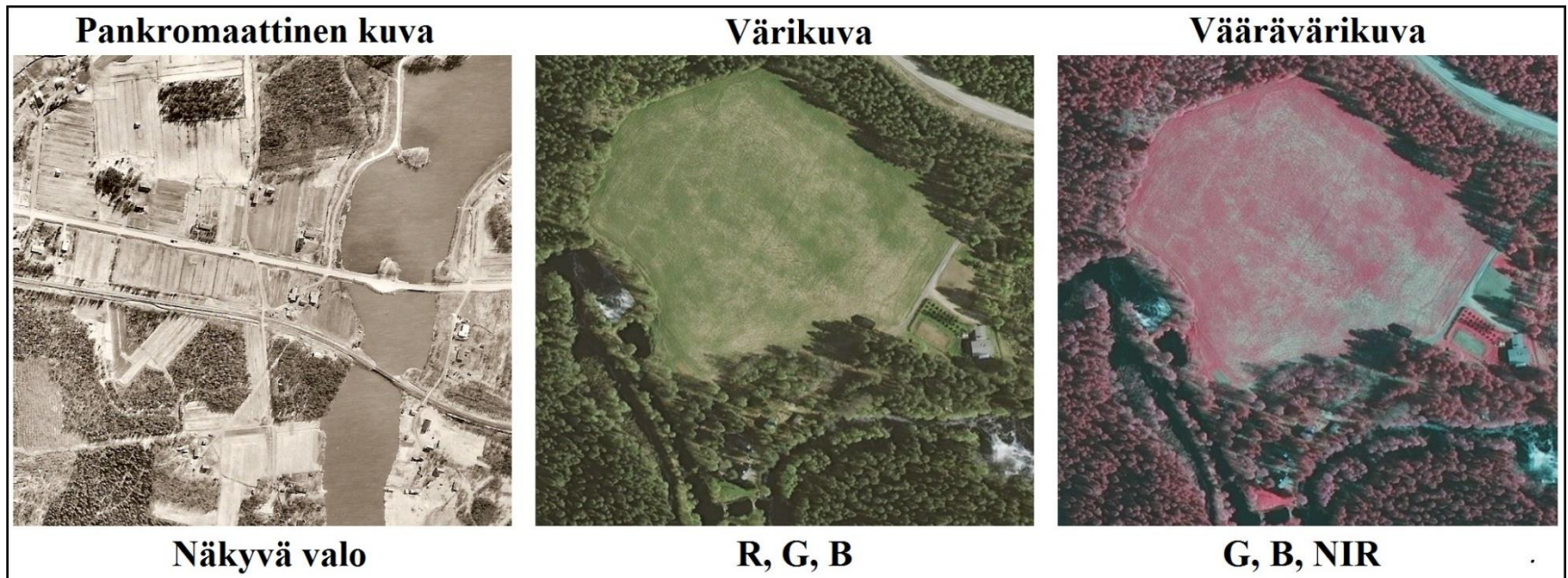
	s'_q	s'_p	c	
UltraCamX	103.9 mm	67.8 mm	100 mm	pankromaattinen
UltraCamX	34.7 mm	23.9 mm	33 mm	monikanavainen
UltraCamEagle	104.1 mm	68.0 mm	80 mm	pankromaattinen
UltraCamEagle	34.7 mm	22.7 mm	27 mm	monikanavainen
UltraCamEagle	104.1 mm	68.0 mm	210 mm	pankromaattinen
UltraCamEagle	34.7 mm	22.7 mm	70 mm	monikanavainen

Filmikuvausten tyyppikamerat
9/23, 15/23 ja 21/23

Digitaalisia tyyppikameroita ei ole
Kuvaussuunnitelma laaditaan pankromaattiselle kuvalle

Digitaaliset ilmakuvat

Digitaalinen ilmakuvauuskamera tuottaa samalla kuvauslennolla kaikki tarvittavat raakakuvat, joista tuotetaan **pankromaattiset** (= mustavalkoiset) kuvat, luonnollisen värivaikutelman **värikuvat** ja lähi-infra-alueen **väärävärikuvat**



Näkyvä valo jakaantuu kanaviin R (= Red), G (= Green) ja B (= Blue)
Lähi-infra (NIR) on hieman näkyvää valoa pidempiaalloista valoa

Kuvauskoneet

Tyyppi	Maksimi-lento- korkeus (m)	Lento- nopeus (km/h)
Cessna 206	4800	263
Cessna 208	7600	343
Cessna 402	8200	396
Commander 690	5900	363
Diamond DA42	5500	356
Pilatus PC-6 Porter	7600	213
Piper Navajo	7900	420

Suuriformaattinen digitaalinen ilma-kuvauskamera oheislaitteineen painaa noin 100 kg. Kuvauskoneessa pitää olla tilaa ja kantokykyä laitteiden operointiin

Taulukon koneet ovat potkurikoneita



Kartoitusilmakuvausten ajankohta

- Lentokoneesta tehtävät kartoitusilmakuvaukset suoritetaan **keväällä** lumien sulamisen jälkeen, mutta ennen lehtien puhkeamista puihin
- Näkyvyyden tulee olla hyvä, vähintään noin 10 km
- Kuvilla ei saa näkyä pilviä, savua tai pilvien varjoja
- Kuvausta ei pidä suorittaa pilvipeitteen alapuolelta
- Auringon korkeuskulman tulee olla vähintään 25°
- Sopivia kuvauspäiviä voi olla Suomessa vain 10-20 kuvauskaudessa
- Lennokkikuvauksissa kuvausajankohdan voi valita vapaammin, muun muassa kuvaukset voidaan tehdä pilvipeitteen alta

Kartoitusilmakuvauksen suunnittelu

Suunnittelun tehtävät

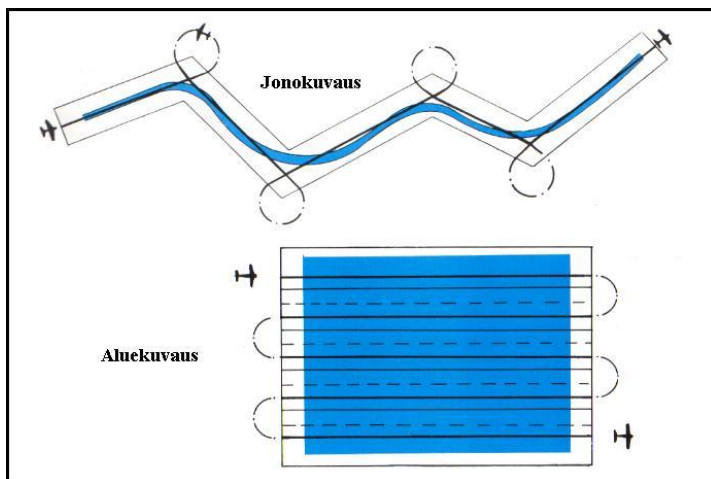
- **Ilmakuvaussuunnitelma** tehdään tarjouspyyntöä ja tukipiste- ja signalointisuunnitelmia varten
- Ilmakuvaussuunnitelma muodostuu suunnitelma-kartasta ja sitä täydentävästä selostuksesta
- **Tukipistesuunnitelma** luo edellytykset kuvaus-suunnitelman mittaustekniselle toteutukselle
- Kartoitettava alue määräytyy uloimpien tukipisteiden mukaan, joten tukipistesuunnitelma ja kuvaus-suunnitelma on tehtävä samanaikaisesti
- **Signalointisuunnitelmassa** esitetään signaloitavat pisteet, signalointitapa ja signaalikoko

Mittausohjeet

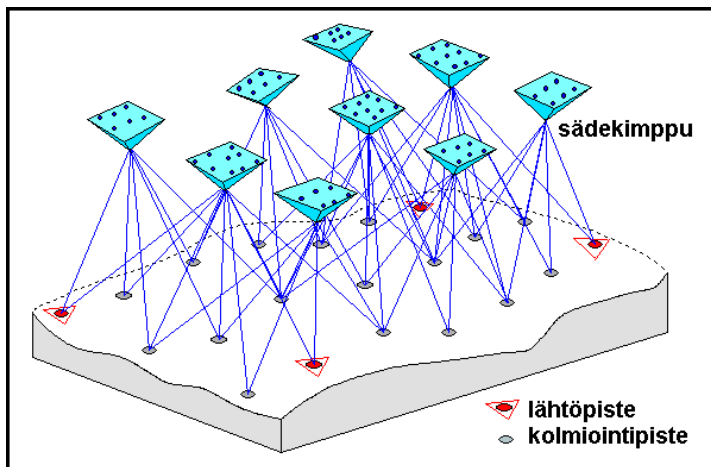
- Filmikuvausten aikaan ilmakuvauksia varten oli yksityiskohtaisia mittausohjeita (kaavoitusmittausohjeet, uusimmat vuodelta 2003, ja useita Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seuran ohjeita)
- Ohjeita on uudistettu, mutta yhtä kattavia ohjeita kuin filmikuvausten aikaan ei enää laadita: digitaaliset kuvaukset ovat monimuotoisempia kuin filmikuvaukset ja niiden yksityiskohtainen ohjeistus ei ole tarkoituksenmukaista
- **Aikaisempaa enemmän pitää tukeutua hyvään mittaus-tapaan ja asiantuntijatietoon**
- Ilmakuvausten hankkijoille Suomen Kuntaliitto tarjoaa ohjeita paikkatiedon oppaassaan: **tässä esityksessä tukeudutaan näihin ohjeisiin**

Kuvauslajit ja kuvablokki

Kuvauslajit



Kuvablokki ja sädekimppu



Kartoitettavan alueen ilmakuvat muodostavat kuvablokin, jossa jokainen kohde näkyy vähintään kahdella kuvalla

Kuvablokki muodostetaan jono- tai aluekuvauksin (kuvauslajit)

Kuvablokin suureita

Kuvausalue:

- kartoitettavan alueen leveys (l_q), mitataan poikittain lentosuuntaan
- kartoitettavan alueen pituus (l_p), mitataan lentosuunnassa jonoittain

Kuvapeitot ja reunavarat:

- pituuspeittoprosentti, tavoite (p_{req}), jonka tulee olla vähintään 60 %
- sivupeittoprosentti, tavoite (q_{req}), jonka tulee olla vähintään 30 %
- sivureunavara, tavoite (r_{reg})
- sivureunavara, todellinen (r_{real})

Kuvablokki:

- mittakaavaluku, laskettu (m_{calc})
- mittakaavaluku, käytetty (m_{used})
- lentokorkeus (H)
- kuvasivu maastossa lentosuunnassa (s_p)
- kuvasivu maastossa poikittain lentosuuntaan (s_q)
- kuvauskanta (b)
- sivupeittoprosentti, käytetty (q_{used})
- kuvausjonojen välimatka (a)
- kuvausjonojen lukumäärä (n_q)
- jonon kuvien lukumäärä (n_p), lasketaan jonoittain
- kuvablokin kuvien lukumäärä (n)

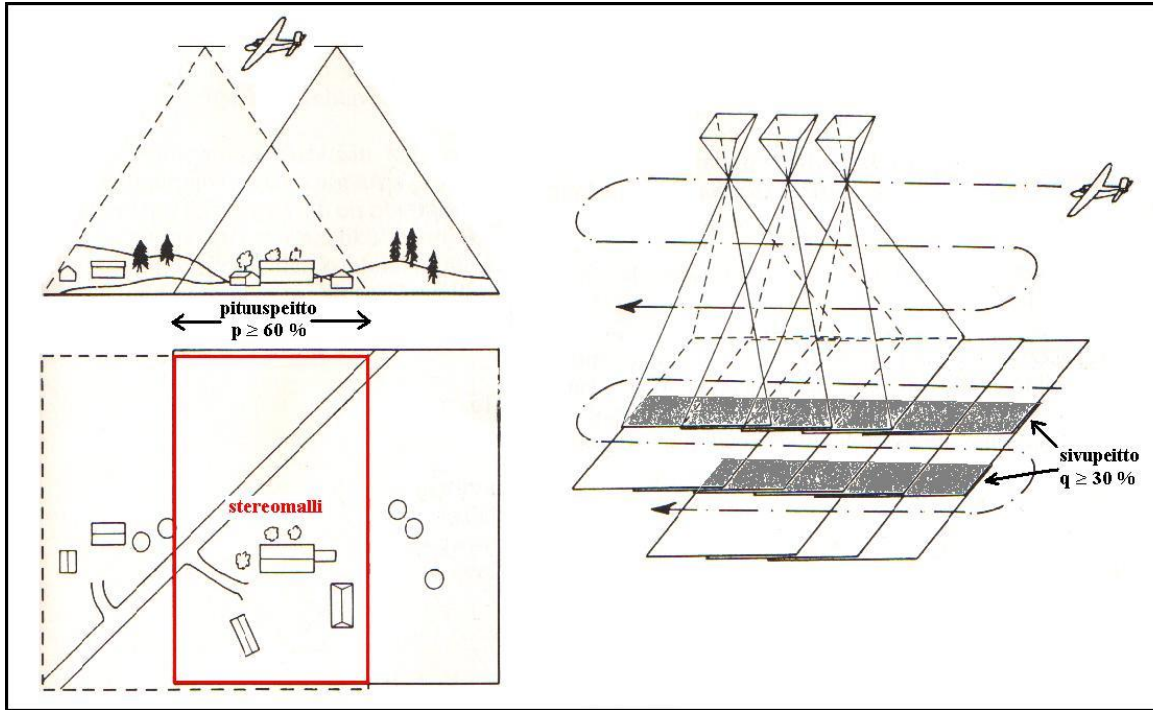
Erotuskyvystä lähdetään liikkeelle

Kuntaliiton paikkatiedon oppaan ohjeita ilmakuvauksen suunnittelua varten

Mittausluokka, kartta	Max GSD / m	Max lento- korkeus / m	Min pituus- peitto / %	Min sivupeitto / %
1e	0.05	800	60	60
1, 1:500	0.10	1600	60	30
1, 1:1000	0.10	1600	60	30
2, 1:1000	0.15	2400	60	30
2, 1:2000	0.15	2400	60	30
3	0.5	7000	60	30

Mittausluokat on selostettu esimerkiksi JHS 185 –ohjeessa. GSD (Ground Sample Distance) kuvaa maastoerotuskykyä

Pituus- ja sivupeitot



Jonon peräkkäisten kuvien pitää peittää toisiaan

→ Pituuspeiton (p) pitää olla vähintään 60 %

$$p = 100 \frac{s_p - b}{s_p}$$

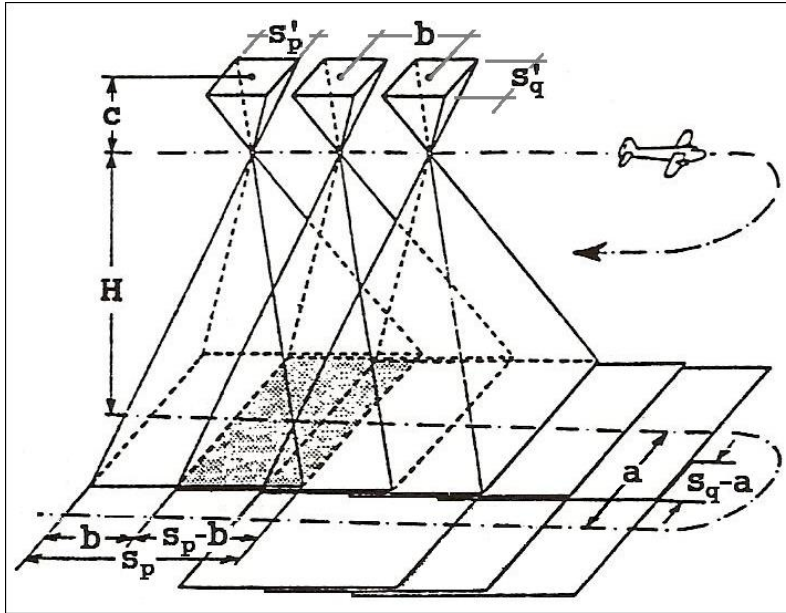
$$q = 100 \frac{s_q - a}{s_q}$$

Peräkkäisten kuvien pituuspeittoalue on stereomallin alue, jossa voidaan tehdä kolmiulotteisia mittauksia

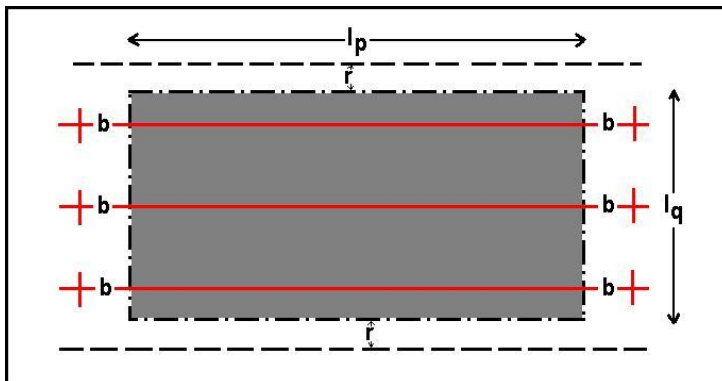
Vierekkäisten jonojen sivupeiton (q) pitää olla vähintään 30 %

Digitaalisissa kuvauksissa on usein perusteltua käyttää suurempia peittoprosentteja (esimerkiksi $p = 80\%$ ja $q = 60\%$), koska suuremmat kuvapeitot parantavat automaattisten mittausten luotettavuutta ja ortokuvien laatua

Kuvablokin peruskaavat ja reunavarat



Sivu- ja päätyreunavarat



Kuvaussuunnittelu aloitetaan maastoerotus- kyvystä ja kamerasta

Mittakaavaluku, laskettu on $m_{calc} = \frac{R_{req}}{R_{camera}}$

Suunnittelussa käytettävä mittakaavaluku valitaan, niin että $m_{used} \leq m_{calc}$

Tasalukuun

Lentokorkeus on $H = m_{used} c$

Kuvasivun pituus maastossa lentosuunnassa on $s_p = m_{used} s'_p$

Kuvasivun pituus maastossa poikittain lentosuuntaan on $s_q = m_{used} s'_q$

Kuvauskanta on $b = s_p \left(1 - \frac{p_{req}}{100}\right)$

Kuvausjonojen välimatka on $a = s_q \left(1 - \frac{q_{req}}{100}\right)$

Sivureunavara on $r_{req} = 0.05H + s_q / 25$ **Ei perustu ohjeisiin**

Kuvausjonojen lukumäärä on $n_q = \frac{I_q + 2r_{req} - s_q}{a} + 1$

Todellinen reunavara on $r_{tod} = \frac{(n_q - 1)a + s_q - I_q}{2}$

Kuvausjonon kuvien lukumäärä on $n_p = \frac{I_p}{b} + 3$

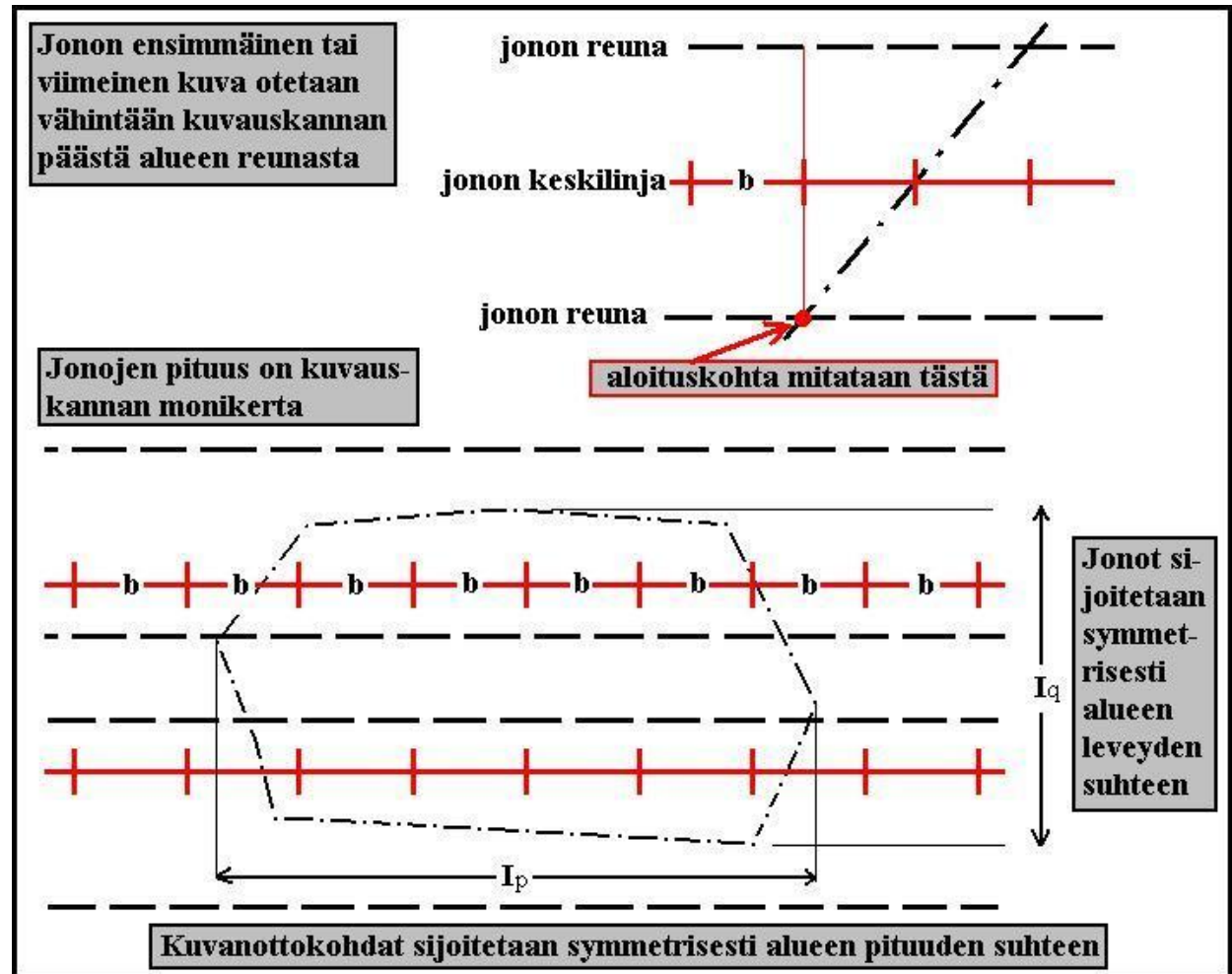
**Säädetään
sivupeitolla
lähelle
vaadittua**

Kuvausjonojen sijoittelu

Aluekuvauksissa ensisijainen lentosuunta on perinteisesti ollut itä-länsisuunta

Jos alueella on selkeä pituussuunta, voidaan jonot lentää alueen pituussuunnassa

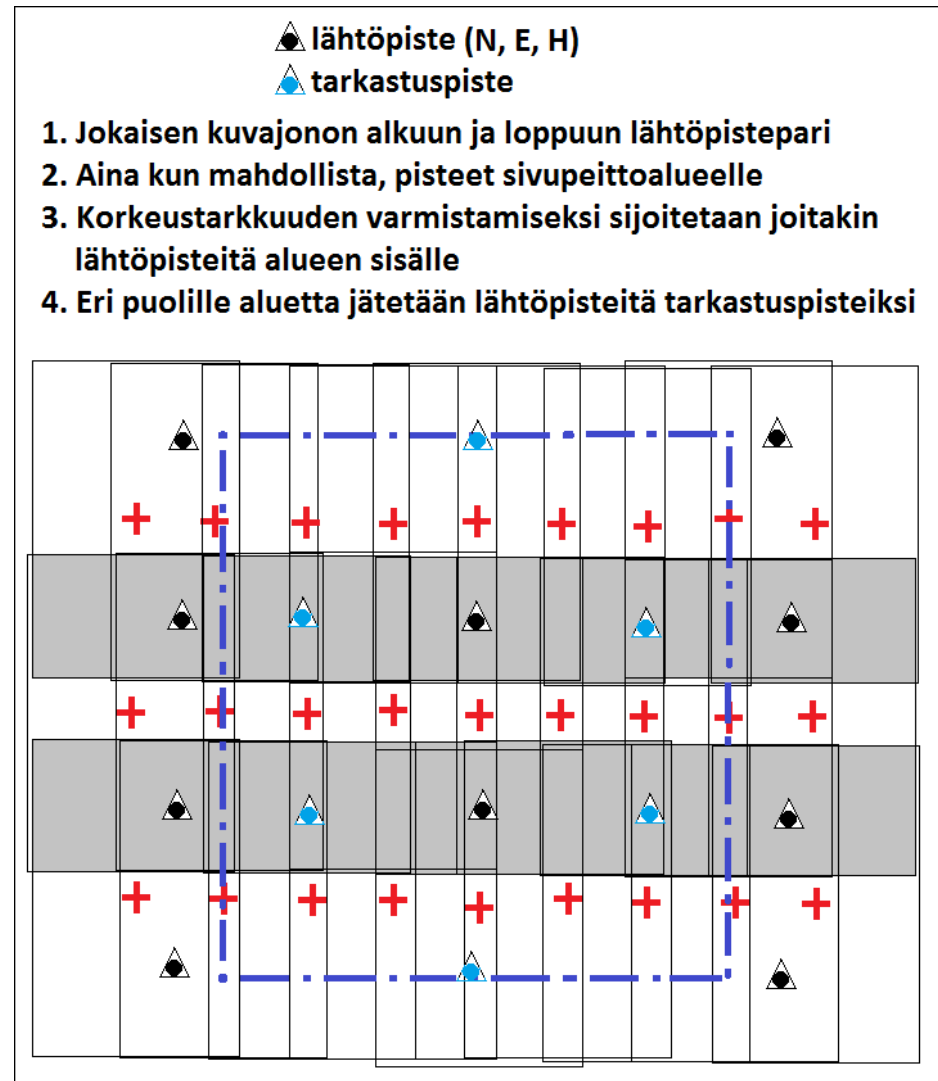
Digitaalisissa kuvauksissa lentosuunta on ensijaisesti alueen pituussuunta, jolloin saadaan yleisesti pienin jono- ja kuvamäärä



Kuvauksen tukipisteet

- Digitaalisissa ilmakuvauksissa kuvien orientointi mitataan (GNSS ja IMU)
- Kuvien orientointi ei siis välttämättä edellytä maastossa olevia tukipisteitä (lähtöpisteitä)
- **Kuitenkin tukipisteillä varmistetaan kuvamittausten yleinen laatu ja erityisesti yhteensopivuus alueen kiintopisteverkon suhteen**
- Erityiset tukipisteet, tarkastuspisteet, antavat hyvän keinon mittaustarkkuuden arviointiin

→TUKIPISTESUUNNITELMA



Tukipisteet Kuntaliiton ohjeessa

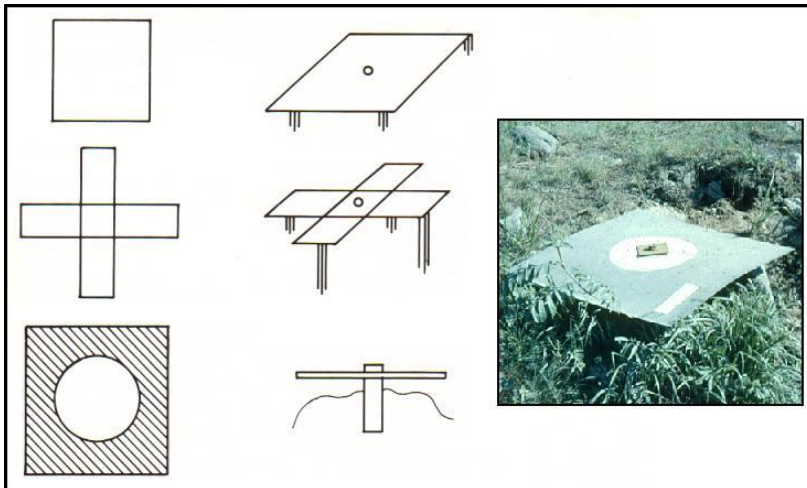
Orientointitapa	Tukipisteiden sijoittelu ja määrä
Yksittäisen mallin orientointi	Neljä 3D-lähtöpistettä
Blokkitasoitus ilman DGNSS-tukea	Yksi 2D/3D-lähtöpiste neljän kuvauskannan välein blokin reunoilla. Yksi korkeuslähtöpiste jokaisella kuvausjonolla blokin poikki neljän kuvauskannan välein sekä kuvausjonojen molemmissa päissä
DGNSS-tuettu blokkitasoitus, jossa lennetään poikkijonot	Yksi 3D-lähtöpiste jokaisessa blokin nurkassa. Pisteparit suotavia
DGNSS-tuettu blokkitasoitus ilman poikkijonoja	Yksi 3D-lähtöpiste jokaisessa blokin nurkassa. Pisteparit suotavia. Vähintään kolme satunnaisesti jakautunutta lähtöpistettä blokin sisällä
DGNSS/IMU-tuettu blokkitasoitus ilman poikkijonoja	Yksi 3D-lähtöpiste jokaisessa blokin nurkassa. Pisteparit suotavia

DGNSS = differentiaalinen/suhteellinen mittaus, IMU = inertiamittaus
GNSS-tukiasema enintään 50 km etäisyydellä tai VRS-tuki käytettävissä
Osa mahdollisista lähtöpisteistä on hyvä jättää tarkastuspisteiksi

Signalointi

**Signaalien avulla näkyvöitetään kohteet,
joiden halutaan näkyvän kuvilla.
Yleisimmin käytetty signalointitapa on
valkoinen ristisignaali**

Mahdollisia signalointitapoja. Lennokki-
kuvauksissa käytetään muitakin tapoja



**Ristisignaalin siiven leveys ja pituus
Kuntaliiton ohjeissa**

GSD / m	Leveys / m	Pituus /m
0.05	0.10	0.60
0.10	0.10	1.00
0.15	0.20	1.20
0.50	0.40	3.50

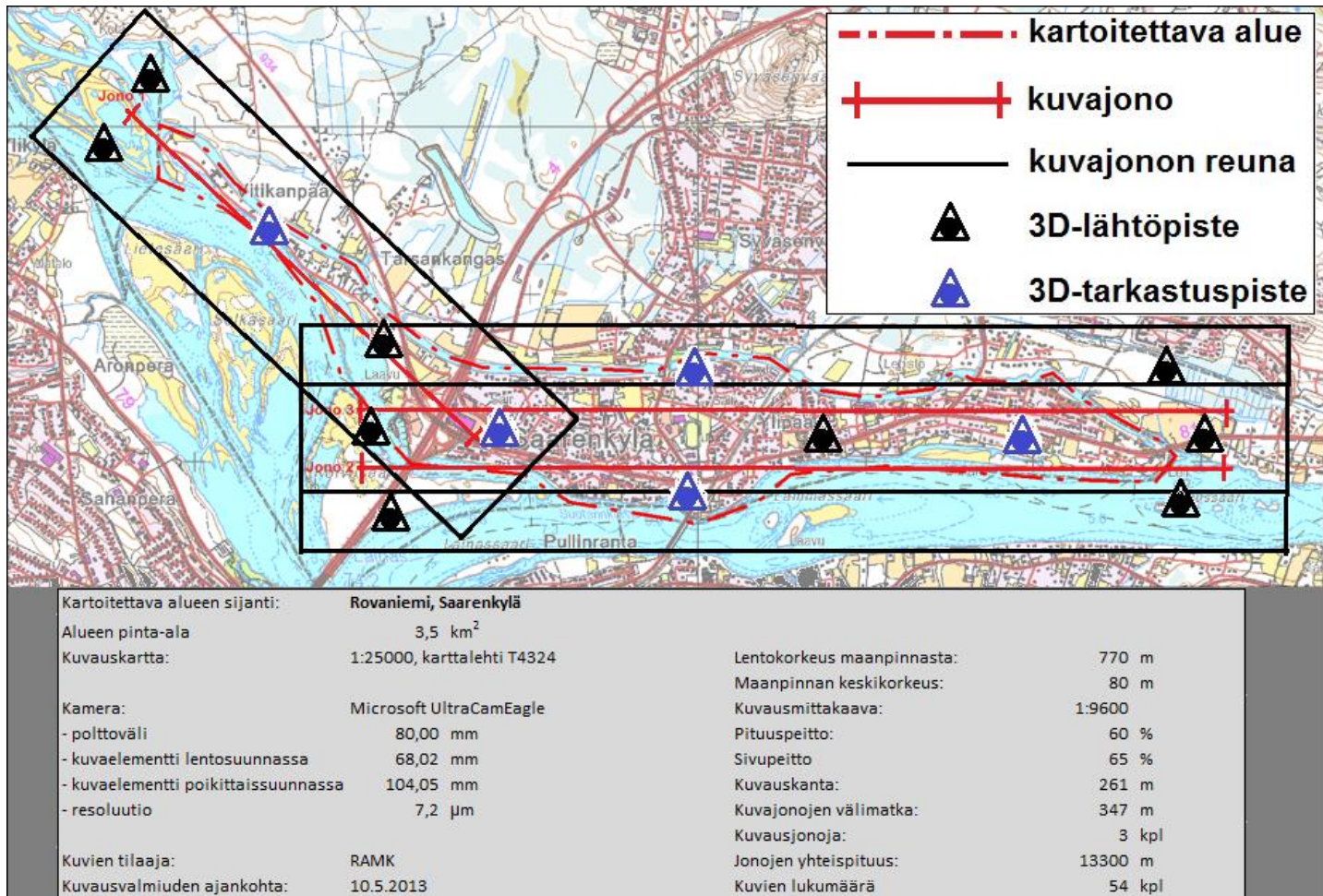
→SIGNALOINTISUUNNITELMA

Kuvaussuunnitelma

Ilmakuvaussuunnitelma on kartta ja sitä täydentävä selostus ja selite

Selostuksessa esitetään kuvauksen tarkoitus, mittausohjeet, kuvatuotteet, tukipisteet ja signalointitiedot

Tilaajan ja tarjoajan suunnitelma voivat poiketa toteutuksesta!



Täydentäviä tietoja

Aluevalvontalain rajoitukset

- Maanpuolustuksen kohteiden kuvaaminen ja tutkiminen ilmasta on luvanvaraista
- Luvatta ei saa kuvata, erityisesti alle 0.3 m maastoresoluutiolla (GSD):
 - Ilmailulta pysyvästi rajoitettuja alueita
 - Linnoitus- ja kasarmialueita sekä varikkoja
 - Sotasatamia ja sotilaslentokenttiä
 - Viestiasemia ja antennikenttiä
 - Maastoharjoituksia
- **Kuvaaja vastaa ohjeiden noudattamisesta**
- Pääesikunta myöntää tarvittaessa kuvausluvan

Kuvausten suorittajat

- Suuriformaattisten ilmakuvausten suorittajia on Suomessa vähän, pääasiassa kansainvälisiä toimijoita:
 - Blom Kartta Oy
 - FM-International Oy FINNMAP
 - SKM Gisair Oy
 - Terratec Oy
- Suuriformaattisten ilmakuvausten lisäksi nämä yritykset tekevät muun muassa ilmalaserkeilauksia
- Myös Maanmittauslaitos tekee kartoitusilmakuvauksia, mutta vain omiin ja Puolustusvoimien tarpeisiin
- Omien kuvausten avulla Maanmittauslaitos ylläpitää ilmakuvausosaamistaan

Ilmakuvauksen kustannukset

- Ilmakuvauksen laskutus tapahtuu todellisten kustannusten mukaan:
 - Pohjahinta siirtolennoista riippuen 1000-3000 euroa/kohde
 - Jonojen perusteella 200-400 euroa/jono
 - Kuvatuotteiden perusteella 10-30 euroa/kuva
- Fotogrammetrinen pistetihennys ja ortokuvan tuottaminen ovat osa samaa puoliautomaattista kuvien tuotantoprosessia
- Niiden kustannukset sisältyvät tässä kuvatuotteiden hintaan
- Stereodigitoinnin kustannukset riippuvat pinnamuodoista, peitteisyydestä ja rakennetun ympäristön kohteiden määrästä: arviolta 5-30 euroa/ha
- Yleisesti pienet kuvauskohteet ovat suhteellisesti kalliimpia kuin suuret kohteet

Lähteet

- JHS-suositukset. JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. Julkaistu 5.2.2014. Internet: <http://jhs-suositukset.netum.fi/web/guest/jhs/recommendations/185>.
[Luettu 18.10.2017](#)
- Laurila, P. 2017. Digitaalisen ilmakuvauksen suunnittelun kaavat. Lapin AMK. Luentodokumentti
- Puolustusvoimat. Ohje ilmakuvaajalle. Internet: <http://puolustusvoimat.fi/ilmakuvauslupa> . Luettu 18.10.2017
- Suomen Kuntaliiton ry. Paikkatiedon opas. Tarjouspyyntömalli. Internet: <http://kuntaliitto.fi/paikkatiedon-opas/toiminta-ja-hankinnat/tarjouspyyntomalli>. Luettu 18.10.2017