

Digitaalisten kuvien laatu

Eija Honkavaara

Geodeettinen laitos, Kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osasto
Geodeetinrinne 2, PL 15, 02431 Masala
eija.honkavaara@fgi.fi

Tiivistelmä. Tässä artikkelissa käsitellään digitaalisten kuvien laatua. Digitaalisten kuvien laatumittarit kuvaillaan lyhyesti sekä arvioidaan perinteisistä ilmakuvista skannattujen sekä suoraan digitaalisilla kameroilla kuvattujen kuvien laatua. Raakakuvien prosessointi lopullisiksi kuvatuotteiksi on monivaiheinen prosessi, jossa monin tavoin vaikutetaan lopputuotteen laatuun. Tässä artikkelissa käsitellään mm. radiometrian prosessointia, suoraa georeferointia, koordinaatistoja sekä orto-oikaisua.

Tärkeä osa kuvatuotantoa on laadunvalvonta. Tie hyvään laatuun kulkee kalibroinnin, standardoitujen ja perusteellisesti suunniteltujen prosessien sekä prosessinaikaisen laadunvalvonnan kautta. Laskentaan perustuvissa prosesseissa pelkkä laitteistojen laadunvarmistus ei riitä, myös ohjelmistojen ja niiden käytön tarkkuus ja virheettömyys tulee varmistaa. Digitaaliseen kuvatuotantoon ja sen laadunvalvontaan ei Suomessa ole kansallisia standardeja. Esimerkkinä laadunvalvonnasta esitetään Maa- ja metsätalousministeriön IACS ortokuvatuotantoon kehitetty laadunvarmistusjärjestelmä.

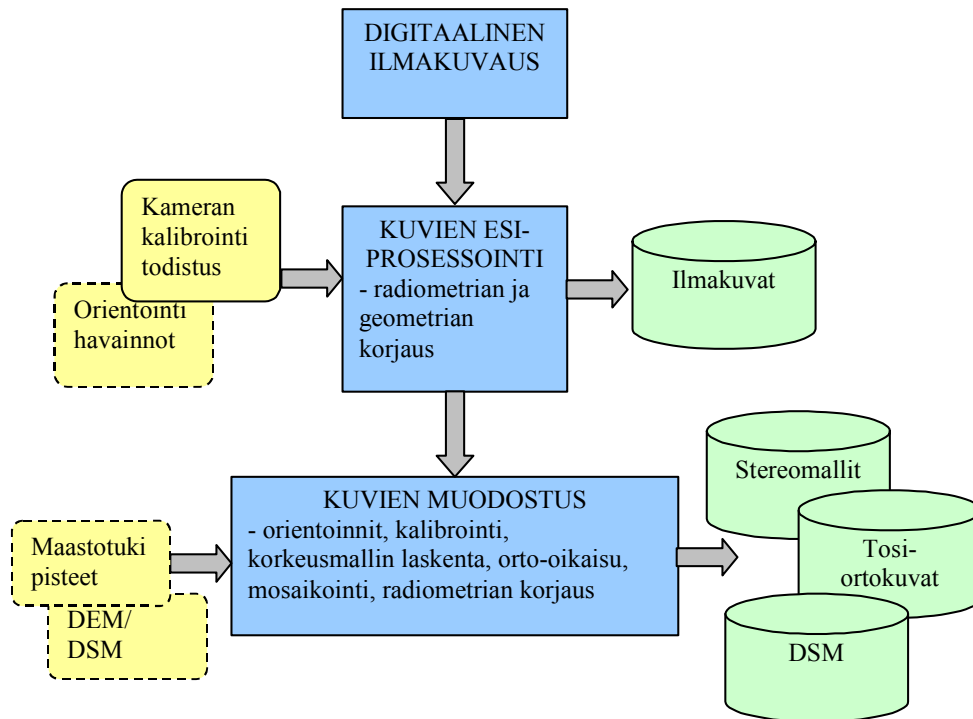
Avainsanat: digitaaliset kuvat, geometrinen laatu, kalibrointi, laadunvalvonta, radiometrinen laatu, spatiaalinen erotuskyky.

1 Johdanto

Kuvan laatu on tärkeä sen käyttökelpoisuuteen vaikuttava asia. Kuvien laatua voidaan arvioida erilaisten mittarien avulla; näistä tärkeimpiä ovat geometrinen tarkkuus, spatiaalinen erotuskyky, radiometrinen laatu sekä spektraali erotuskyky (Kuittinen 1993). Erilaisilla sovellutuksilla on erilaiset vaatimukset kuvalaadun komponenttien suhteen. Laadun lisäksi kuvamateriaalin valintaan liittyviä kriteerejä ovat mm. hinta, saatavuus sekä käyttö tulevaisuudessa.

Kuvatuottajan tilaajille toimittama aineisto on useimmiten pitkälle prosessoitua ja georeferoitua kuvamateriaalia: ortokuvia tai stereomalleja. Kuvamateriaali tuotetaan tällä hetkellä yleisimmin analogisia ilmakuvia skannaamalla. Digitaaliset suuriformaattiset ilmakuvakamerat alkavat myöskin olla todellisuutta (Ilves 2003); vaihtoehtoja ovat useiden kuvamatriisien yhdistämiseen perustuvat Z/I Imaging DMC ja Vexcel Ultracam sekä rivigeometriaan perustuva Leica Geosystems ADS40. Myös hyväresoluutioisilla satelliiteilla voidaan tuottaa kuvia kartoitustarpeisiin alkaen n. 1 m maastopikselikoosta.

Kuvatuotannon laadunvarmistus on monivaiheinen prosessi. Laadunvarmistus jakautuu prosessia edeltäviin, prosessin aikaisiin sekä prosessin jälkeisiin toimenpiteisiin. Keskeisiä



Kuva 1. Näkemys modernista kuvatuotantoprosessista. Katkoviivoitetut laatikot ovat optionaalisia.

ennen prosessia suoritettavia toimenpiteitä ovat prosessien standardointi, prosessien suunnittelu, kalibrointi ja komponenttien laadunvarmistus sekä koulutus. Prosessinaikaista laadunvarmistusta ovat seurantakalibroinnit, havaintojärjestelyt, erilaiset laskennalliset menetelmät sekä välituotteiden tarkastukset. Prosessin jälkeen voidaan vielä suorittaa lopputuotteiden laadunvarmistus joko 100% tarkastuksena tai näytteeseen perustuen. Pääpaino prosessien laadunvarmistuksessa tulee asettaa prosessia edeltäviin ja prosessinaikaisiin toimenpiteisiin.

Esimerkki digitaalisiin kameroihin perustuvasta kuvatuotantoprosessista esitetään kuvassa 1. Laadunvarmistusta tulee suorittaa jokaisessa osaprosessissa. Kuvatuotantoprosessi on muodostumassa entistä enemmän automaattiseksi laskennalliseksi toiminnoksi, jolloin keskeiseksi kysymykseksi nousevat ohjelmistojen ja algoritmien suorituskyky ja virheettömyys sekä ohjelmistojen oikeanlainen käyttö.

Analogisen kuvatuotannon osalta standardina Suomessa käytetään Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seuran (FKS) suosituksia (1993, 1995). Digitaalista kuvatuotantoa varten on esitetty joitakin suosituksia FKS suosituksissa (1998) ja Kaavoitusmittausohjeissa (2003), mutta käytännössä tarvitaan yksityiskohtaisempia ohjeita. Geodeettinen laitos (GL) on toiminut laatuasiantuntijana Maa- ja metsätalousministeriön (MMM) peltolohkovalvontaa varten suoritettussa koko valtakunnan kattavassa ortokuvatuotannossa vuosina 1996–1997 sekä vuodesta 2002 alkaen; jälkimmäistä prosessia varten kehitetty laatuohjelmistö esitellään lyhyesti kappaleessa 3.3. GL:lla on vuonna 2003 käynnistynyt tutkimusprojekti, jossa kehitetään menetelmiä digitaalisten kuvien radiometrisen laadun ja spatiaalisen erotuskyvyn operationaaliseen laadunvarmistukseen.

2 Kuvien laatu

2.1 Radiometrinen laatu

Sensorin radiometrisellä laadulla tarkoitetaan sen dynamiikkaa sekä radiometristä erotuskykyä. Nämä tekijät määrittävät, minkälaisia säteilyenergian arvoja ja miten pieniä säteilyenergian eroja sensori pystyy ilmaisemaan. Kuvien radiometristä laatua voidaan arvioida erilaisten kontrastien sekä histogrammien avulla (Kuittinen 1993).

Analogisiin kuviin perustuvassa prosessissa kuvan radiometrinen erotuskyky ja dynamiikka riippuvat sekä alkuperäisestä kuvasta että skannausprosessista. Skannattujen kuvien pikselisyvyys on yleisimmin 8 bittiä/kanava, mutta tätäkään sävyaluetta ei aina käytetä täysin hyväksi. Skannausprosessissa voidaan merkittävästi hukata kuvan radiometristä informaatiota.

Uusilla digitaalisilla kameroilla tuotettujen kuvien radiometrinen laatu on parempi kuin skannatuilla kuvilla. CCD-sensorit ovat herkkiä ja niillä on laaja dynaaminen alue; valotusaikaa säätämällä voidaan vaikuttaa rekisteröitäviin kontrasteihin. CCD-sensoreiden radiometrinen vaste on lineaarinen, kun taas analogiakuvien mustumakäyrä on epälineaarinen. Digitaalisilla ilmakuvauskameroilla talletetaan yleensä 12 bittiä/kanava sävyalue. Esim. ADS40:llä on raportoitu 8-9 bitin SNR:sta 12 bitin dynaamisella alueella. CCD sensoreilla myös kohina on filmiä alhaisempi (ei rakeisuutta). Tulokset digitaalisten kameroiden kuvilla ovat mm. osoittaneet, että mittauksia voidaan suorittaa myös varjoissa. Digitaaliset kamerat tuovat uuden ulottuvuuden kuvausten laadunvalvontaan, koska kuvien radiometrinen laatu voidaan arvioida jo kuvauksen aikana visuaalisesti ja histogrammien perusteella. Myös kuvausparametrien sopivuus voidaan varmistaa jo lennon aikana.

Kuvilla esiintyvä kuvausolosuhteista johtuvia radiometrisiä vääristymiä, jotka tulee korjata, jotta kuvia voitaisiin hyödyntää optimaalisella tavalla sekä interaktiivisissa että automaattisissa sovellutuksissa. Syitä radiometrisille vääristymille ovat mm. sulkimen aukon varjosta johtuva vignetoitumisilmiö sekä valaistuksesta ja kuvausgeometriasta johtuva vastavalo/myötäväloilmiö. Käytännön prosessissa ilmiöt korjataan yleisimmin joko tilastollisilla menetelmillä tai visuaalisesti; fysikaaliset olosuhteet huomioivia BRDF-korjauksia ollaan myöskin kehittämässä. Kuvien radiometrisiä ominaisuuksia joudutaan usein myös muokkaamaan visuaalista tulkintaa varten. Esimerkkinä tästä on metsäsovellutuksia varten suoritettava kuvien sävyjen säätö, jossa tavoitellaan mm. pääpuulajien erottumista. Radiometriian prosessointiin liittyy vaara, että kuvan informaatiota hävitetään liikaa.

2.2 Alueellinen erotuskyky

Alueellisella (spatiaalisella) erotuskyvyllä tarkoitetaan sitä, miten pieniä yksityiskohtia kuvilta voidaan erottaa. Yleisimmin käytettyjä alueellisen erotuskyvyn mittareita ovat erotuskyky (resolving power), pinta-alalla painotettu erotuskyky (AWAR) sekä modulaation siirtofunktio (MTF). Tyypillisesti kuvien erotuskyky määritetään viivatiheyksiltään tunnettujen erotuskykykuvioiden avulla. (Kuittinen 1993)

Kuvalla havaittava erotuskyky riippuu kuvausjärjestelmästä, kontrasteista ja kuvausolosuhteista. Analogisilla ilmakuville kuvausjärjestelmän erotuskyky on tyypillisesti 40–60 lp/mm (viivapareja millimetrillä), jolloin kuvan erotuskyvyn säilyttäminen edellyttää skannausta pikselikoolla 8–12,5 μm . Varsin tyypillinen skannausresoluutio on 15–20 μm , joka Nyquistin näytteenottoteoreeman mukaan mahdollistaa 33–25 lp/mm erotuskyvyn.

Digitaalisilla ilmakuvasensoreilla alueellista erotuskykyä ilmaistaan usein GSD:nä eli sensorin pikselikokona maastossa (Ground Sample Distance). GSD lasketaan kertomalla sensorin pikselikoko kuvausmittakaavalla. Grahamin *et al.* (2002) mukaan GSD on varsin hyvä digitaalisen kuvan erotuskyvyn mittari. Digitaalisilla sensoreilla GSD:tä rajoittavat CCD-sensorin pikselikoko ja rekisteröintinopeus, kuvauskoneen maanopeus sekä

lentokorkeus. Esim. Z/I:n DMC:llä pienin mahdollinen kuvanottoväli on 2 s, jolloin esim. n 150 kn maanopeudella ja 60% pituuspeitoilla pienin saavutettavissa oleva pikselikoko on 0,05 m. Vexcel:n Ultracam-kameralla pienin kuvanottoväli on 0,75 s, mikä mahdollistaa pienemmän GSD:n, esim. em. tapauksessa n. 0,02 m GSD on teoriassa mahdollinen. LH-Systems:n ADS40-kameralla teoriassa suurin rekisteröintitaajuus on 800 Hz, mutta käytännössä kuvausolosuhteet määrittävät valotusajan. ADS40 on suunniteltu GSD:lle >0,15 m, jonka saavuttamiseksi on ehdotettu esim. <80 kn maanopeutta.

Tärkeä erotuskykyyn vaikuttava tekijä on kuvaliikkeen kompensointi (FMC). FMC suoritetaan elektronisesti CCD-matriiseihin perustuvissa kameroissa. ADS40:ssä FMC ei ole mahdollinen.

2.3 Spektraali erotuskyky

Spektraalilla erotuskyvyllä tarkoitetaan sitä, miten monella sähkömagneettisen spektrin kaistalla kuvat on kuvattu ja minkä levyisiä ovat käytetyt kaistat. Monikanavaiset kuvat soveltuvat hyvin visuaalisen ja automaattisen tulkinnan sovellutuksiin. (Kuittinen 1993)

Analogisia kameroita käytettäessä on jouduttu tekemään valinta mustavalko-, väri- tai väärävärifilmin välillä ja eri kanavat ovat peittäneet toisiaan. Laajaformaattiset digitaaliset kamerat on toteutettu niin, että samanaikaisesti voidaan kerätä pankromaattinen-, punainen-, vihreä-, sininen- ja lähi-infrakanava. Mikäli filterit ovat lisäksi kapeita ja suorareunaisia, niin, etteivät eri kanavat peitä toisiaan, soveltuvat uudet kamerat mainiosti erilaisiin kaukokartoitussovellutuksiin. Esimerkiksi ADS40:n multispektraalit kanavat on toteutettu näin.

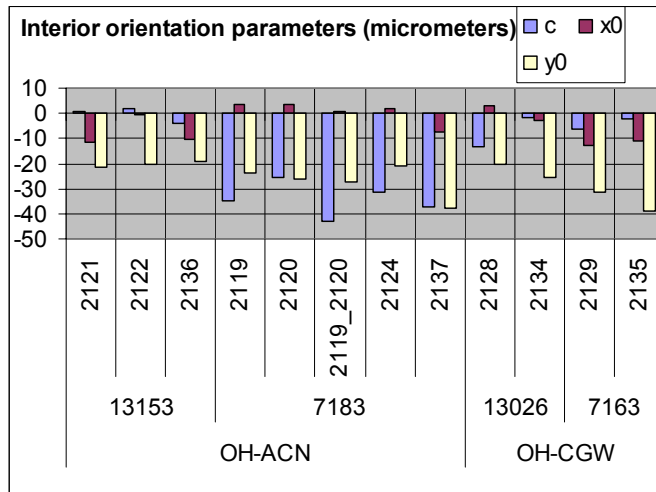
2.4 Geometrisen tarkkuus

Geometrisella tarkkuudella tarkoitetaan, miten tarkka on kohteiden sijainti kuvilla. Raakakuvilla keskeiset geometriseen laatuun vaikuttavat tekijät ovat ilmaisin (mm. objektiivin laatu, kuvaustekniikka, filmivääritykset) sekä sensorin liikkeet kuvauksen aikana. Geometrisen tarkkuus on monissa sovellutuksissa tärkein laatutekijä kuvan käytettävyyttä arvioitaessa.

Analogisilla kuvilla filmi ja sen vääristyminen ovat olleet kuvausjärjestelmän pullonkaula. Reunamerkkimuunnos sekä itsekalibrointi ovat kuitenkin kompensoineet kuvien virheet tehokkaasti. Skannaus tarkalla fotogrammetrisella skannerilla ei käytännössä heikennä geometristä tarkkuutta ja skannauksen jälkeen kuvien geometria pysyy stabiilina.

Laajaformaattiset digitaaliset kamerat perustuvat joko CCD-riviskannaukseen (ADS40) tai useiden matriisimuotoisten CCD-sensoreiden yhdistämiseen (DMC, Ultracam). Täysi kuva muodostetaan joko suorien orientointihavaintojen ja kalibroinnin perusteella (ADS40) tai kuvansovitukseen ja kalibrointiin perustuen (DMC, Ultracam). Ensimmäisten tulosten perusteella matriisisensoreihin perustuvien kameroiden geometrisen tarkkuus vastaa filmikameroiden tarkkuutta. Perinteisesti käytetyt kuvadeformaatiomallit (mm. radiaalinen ja tangentialinen piirtovirhe) eivät sovellu käytettäviksi useasta erillisestä kamerasta (DMC, Ultracam) muodostetun kuvan virheiden mallinnukseen, millä saattaa käytännössä olla vaikutusta lopputuloksen tarkkuutta.

Osa kuvatuotantoprosessia on georeferointi. Georeferoinnilla tässä tarkoitetaan kuvien sitomista maastokoordinaatistoon joko ortokuvina tai stereomalleina. Prosessiin kuuluvat ulkoisten orientointien määrittäminen sekä ortokuvien tapauksessa orto-oikaisu. Perinteisesti ulkoiset orientoinnit on määritetty välillisesti ilmakolmioinnilla. Satelliittipaikannuksen ja inertiaalimittauksen yhdistäminen (GPS/IMU) sallivat myös suoran ulkoisten orientointien määrittämisen ja tätä kautta suoran georeferoinnin. Suomessa Maanmittauslaitos (MML) on varustanut kuvauskoneensa Applanix PosAV 510 GPS/IMU-järjestelmillä.



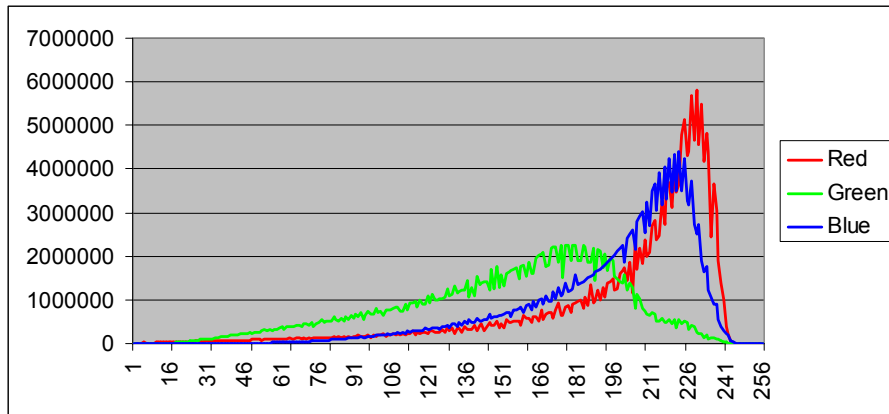
Kuva 2. Lento-olosuhteissa määritetyt kameran sisäisen orientoinnin parametrien korjaukset. MML:n kaksi kuvauskonetta joissa molemmissa kaksi optiikkaa. Kuvausmittakaavat 1:4000, 1:8000, 1:16000. (Honkavaara et al. 2003).

sa havaittiin kaikilla optiikoilla n. 20–40 µm muutos lentosuuntaa vasten kohtisuorassa suunnassa (y0) ja yhdellä optiikalla 20–40 µm muutos polttovälissä. Suora georeferointi soveltuu tällä hetkellä ensisijaisesti ortokuvat tuotantoon, jolla ei ole kovin suuria tarkkuusvaatimuksia.

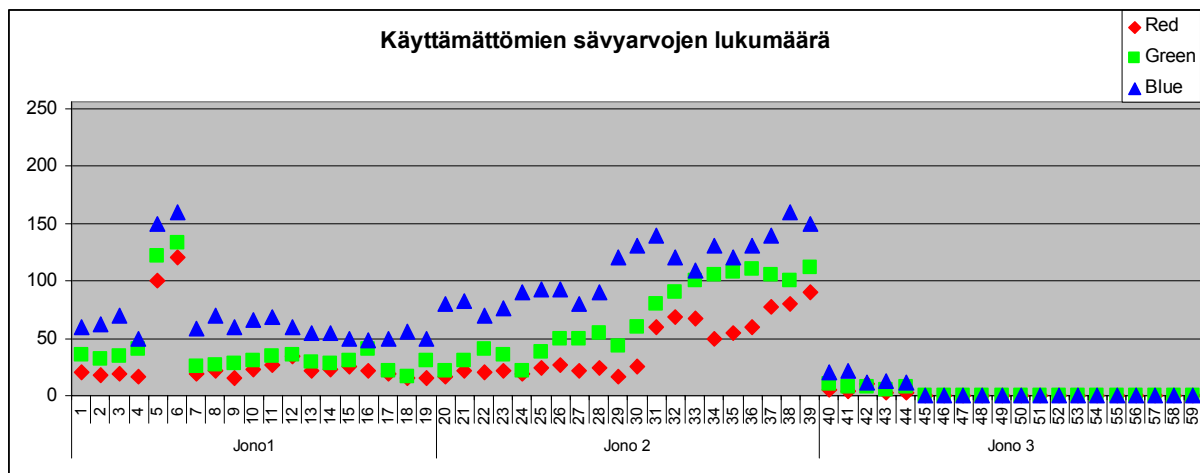
Geometriseen tarkkuuteen vaikuttavat myös käytetyt koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset. Georeferoinnissa yhä useammin kartoituksen runko tuotetaan satelliittipaikannuksella (suora georeferointi tai projektiokeskusten sijainnit ja maastotuki), jolloin muunnos WGS84-järjestelmästä kartoituskoordinaatistoon joudutaan suorittamaan muunnoskaavojen avulla. Mikäli kartoitustyö tehdään kokonaan ilman kohdekoordinaatistossa olevia tukipisteitä, luottaen yleisten muunnoskaavojen tarkkuuteen, riskinä ovat datum-erot. Vastikään valmistuneissa julkishallinnon suosituksissa 153 ja 154 (2003) määritellään suositeltavat muunnokset EUREF-FIN-koordinaatistosta kjk-koordinaatistoon sekä EUREF-FIN-koordinaatiston kanssa suositeltavat karttaprojektiot.

Ilma- ja satelliittikuvat usein orto-oikaistaan, eli muunnetaan ortogonaaliprojektioon haluttuun koordinaatistoon. Orto-oikaisuprosessissa geometriseen tarkkuuteen vaikuttavat kuvien ulkoisten orientointien määrittämisen tarkkuus sekä korkeusmallin laatu. Orto-oikaisu voidaan suorittaa joko maanpinnan tai pintamallin avulla. Viimevuosina käytäntö on ollut oikaista ortokuvat maanpinnan tasoon käyttämällä kansallisia korkeusmalliaineistoja. Suomessa tällainen on MML:n valtakunnallinen Korkeusmalli 25, jonka keskivirhe on n. 2 m. Valtakunnallisessa ortokuvaprojektissa tämä johti alle 2 m ortokuvan pistekeskivirheeseen maanpinnan kohteilla suurimmassa osassa maata (Honkavaara et al. 1999). Maanpinnan tasoon oikaistuilla ortokuvilla korkeusmalliin kuulumattomat kohteet kuvautuvat väärään paikkaan. Pintamallia käyttämällä voidaan tuottaa ns. tosiortokuvia (true ortho), jotka vastaavat geometriselta tarkkuudeltaan karttaa. Esimerkkejä automaattisista järjestelmistä tosiortokuvien tekemiseen ovat ISTAR:n ”pixel-factory” (Bignone 2003) sekä globaali kohteen rekonstruointi (Holm et al. 1997). Algoritmien sekä laskentatehon kehittymisen myötä tosiortokuvat alkanevat yleistyä käytännön sovellutuksissa.

Suora georeferointi on ekstrapolointia, jolloin kaikki systeemin epä-tarkkuudet (mm. ulkoinen orientointi, linssi, sisäinen orientointi, refraktio, kalibrointi, datum) siirtyvät suoraan eteenpäinleikattuihin maastokoordinaatteihin. Analogisten kameroiden tapauksessa suora georeferointia vaikeuttaa se, että analogisia kameroita ei ole suunniteltu tällaiseen käyttöön. Monet uudet digitaaliset sensorit on suunniteltu huomioiden suoran georeferoinnin vaatimukset, esim. ADS40-kamerassa IMU on kiinteä osa sensoria. Esimerkki testikenttäkalibroinnilla määritetyistä analogisen ilmakuvakameran sisäisen orientoinnin parametrien korjauksista (MML:n kuvauskalusto) esitetään kuvassa 2 (Honkavaara et al. 2003). Tutkimukses-



Kuva 3. Esimerkki skannatun väärävärικuvan histogrammista.



Kuva 4. Kuvitteellinen esimerkki histogrammeihin perustuvasta laadunvalvonnasta. Skannausparametrit on säädetty jonon 1 kuvalla 1. Jonolla 1 sävyt hyödynnetään hyväksyttävästi; kuvien 5 ja 6 alueella on histogrammia vääristävä suuri järvi. Jonon 2 loppupuolella käyttämättömien sävyjen määrä lisääntyy, jolloin histogrammi ja kuvan sävykyky vähenee. Jonolla 3 on tapahtunut puhkipalaminen.

3 Laadunvalvonta

3.1 Kalibrointi

Salmenperä (1995) on kuvannut kalibroinnin merkitystä näin: ”Mittausten suoritus ilman kalibrointia ei ole järkevää missään olosuhteissa. Tällöinhän ei olisi takeita siitä, onko mittaus tuloksissa yhtään oikeaa numeroa!”. Kalibrointilajit ovat laboratorikalibrointi, seurantakalibrointi sekä järjestelmäkalkibrointi.

Suositukses analogisen kuvausjärjestelmän laboratorio- ja järjestelmäkalkibroinnista on esitetty FKS suosituksissa (1995). Kameran laboratorikalibroinnin ei pääsääntöisesti tule olla vanhempi kuin 3 vuotta. Järjestelmäkalkibroinnissa voidaan käyttää GL:n Kirkkonummen Sjäkullaan rakentamaa testikenttää, jolla voi lähinnä testata spatiaalista erotuskykyä sekä geometristä tarkkuutta (Kuittinen *et al.* 1994, Ahokas *et al.* 2000). Suomalaiset kartoitusyritykset suorittavat rutiininomaisesti Sjäkullaan kuvauksia ennen ja jälkeen kuvauskauden kuvausjärjestelmien tarkastamiseksi. Suoran georeferoinnin ja digitaalisten

kameroiden tulemisen myötä lennonaikainen kalibrointi ja testikenttäkalibrointi ovat nousemassa entistä tärkeämpään asemaan.

Sjökullan testikentällä erotuskykyä voidaan testata mittakaavoissa 1:3000–1:60000; viivanleveydet ovat 0,03 m – 1,25 m. GL on myös kehittänyt siirrettäviä resoluutiotestikuvioita (Kuittinen *et al.* 1996).

Sjökullan geometrisellä testikentällä voidaan määrittää kuvausjärjestelmän tarkkuus mittakaavassa n. 1:4000. Testikenttää voidaan myös käyttää GPS/IMU/kamera-järjestelmän kalibrointiin mittakaavoissa 1:3000–1:4000 ja 1:6000–1:16000. Kalibrointimenettelyjä ja kalibroinnin tuloksia on tarkemmin kuvannut Honkavaara (2003) ja Honkavaara *et al.* (2003). Esimerkki MML:n kuvauskalustolla kesällä 2002 suoritetusta systeemikalibroinneista esitetään kuvassa 2.

3.2 Kuvausten laaduntarkistus

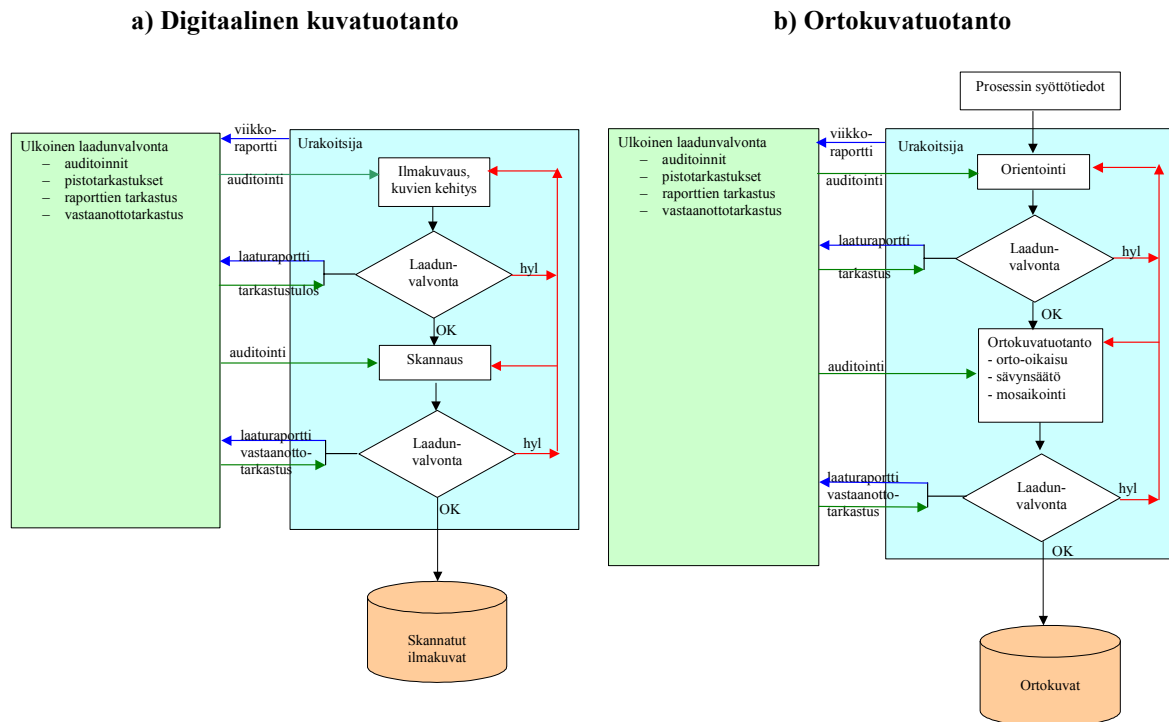
Kuvatuottajan ja –tilaajan etu on, että kuvatuotteiden laatu varmistetaan jokaisen tilauksen yhteydessä. Digitaalisilla kuvilla laatua voidaan tarkastaa laskennallisilla menetelmillä automaattisesti, joskaan standardoituja menetelmiä ei vielä ole olemassa. GL:ssä käynnistyi vuonna 2003 MMM:n rahoittama hanke ”*Kuvalaatuindikaattorit*”, jossa kehitetään menetelmiä operationaaliseen kuvausten radiometrisen laadun ja spatiaalisen erotuskyvyn laadunvalvontaan.

Radiometrisen laadun tarkistamiseen kehitetään histogrammeihin perustuvaa menetelmää. Menetelmässä lasketaan skannauksen jälkeen jokaiselle kuvalle histogrammit statistiikkoinen (keskiarvot, keskijajonnat, käyttämättömien sävyjen määrä jne.). Laskettuja arvoja verrataan tyypillisiin arvoihin ja poikkeavista histogrammeista tuotetaan virheraportti. Tämän menettelyn avulla voidaan havaita ilmakuvauksesta, kehityksestä ja skannauksesta aiheutuvat poikkeamat. Esimerkki tällaisesta laadunvalvonnassa esitetään kuvissa 3 ja 4. Histogrammianalyysi voidaan tehdä globaalisti kokonaiselle kuvalle sekä paikallisesti kiinnostaville kohteille. Histogrammeja voidaan myös analysoida eri värijärjestelmissä (esim. RGB tai IHS).

3.3 Kuvatuotannon laadunvalvonta MMM:n ortokuvaprojektissa

MMM aloitti vuonna 2002 EU:n peltolohkotukien valvontaa varten tarvittavan maanlaajuisen ortokuvakartan ajantasaistuksen. Kuvassa 5 esitetään laadunvalvonnan toteutus projektissa. Laatusuunnitelma on laadittu GL:ssä. Laadunvalvonta jakautuu urakoitsijan itsensä tekemään sisäiseen laadunvalvontaan sekä MMM:n ja konsultin tekemään ulkoiseen laadunvalvontaan. Ortokuvatuotannon erityispiirteitä ovat nopea aikataulu sekä monet urakoitsijat. Ulkoisessa laadunvalvonnassa on päädytty varsin raskaaseen prosessiin lopputuotteen tasaisen laadun varmistamiseksi.

Ulkoista laadunvalvontaa suorittaa pääosin Geoaudit Oy. Ulkoisen laadunvalvonnan vaiheet ovat auditoinnit, pistotarkastukset, urakoitsijan toimittamien laaturaporttien tarkastukset sekä vastaanottotarkastukset. Prosessin alussa suoritettavassa auditoinnissa tarkastetaan, että urakoitsija käyttää hyväksyttäviä menetelmiä. Auditointeja voidaan tarvittaessa suorittaa prosessin kuluessa, mikäli se esim. uusien tekniikkojen käyttöönoton vuoksi katsotaan tarpeelliseksi. Urakoitsijoiden luona voidaan myös suorittaa pistotarkastuksia, joilla varmistetaan, että prosessit ovat auditoinnissa sovitun mukaisia. Urakoitsija suorittaa prosessin aikana oman laatujärjestelmänsä mukaista laadunvalvontaa. Urakoitsija toimittaa keskeisten osaprosessien (ilmakuvaus, skannaus, orientointi sekä orto-oikaisu) jälkeen laaturaportit ulkoiseen laadunvalvontaan.



Kuva 5. Kuvatuotantoprosessi ja ulkoinen laadunvalvonta MMM:n ortokuvaprojektissa.

Vastaanottotarkastukseen edetään, mikäli toimitettujen laaturaporttien perusteella erän voidaan olettaa olevan kunnossa. Vastaanottotarkastusta suoritetaan ilmakuvauksen ja ortokuvatuotannon jälkeen. Tarkastus suoritetaan näytteestä standardien SFS 4010 ja SFS 4760 mukaisesti; AQL=4,0, tarkastustasot ovat S4 (ilmakuvat) ja II (ortokuvat).

Ilmakuvien vastaanottotarkastuksessa tarkastettavia ominaisuuksia ovat:

- Kuvalla esiintyvät häiriöt (roskat, pilvet jne.): visuaalinen tarkastus
- Spatiaalinen erotuskyky: visuaalinen arvio
- Radiometrinen laatu: visuaalinen arvio, histogrammin laskeminen
- Ilmakuvien geometrinen laatu: reunamerkkimuunnos

Ortokuvien tarkastuksen pääkohdat ovat:

- Kuvalla esiintyvät häiriöt (roskat, pilvet, mosaiikkisaumat jne.): visuaalinen tarkastus
- Spatiaalinen erotuskyky: visuaalinen arvio
- Radiometrinen laatu: visuaalinen arvio
- Geometrinen laatu: blokkitasoitusraportti, tarkastuspisteet, mosaiikkisaumat

Tarkistukset suoritetaan pääosin visuaalisesti. Kappaleessa 3.2 kuvattu histogrammin tarkastusmenetelmä on tarkoitus ottaa laadunvalvonnassa käyttöön. Tarkastuksen työläin vaihe on ortokuvien geometrisen tarkkuuden tarkistaminen tarkistuspisteitä käyttäen.

4 Johtopäätelmät

Artikkelissa on käsitelty digitaalisten kuvien laatua. Monet tekijät vaikuttavat digitaalisten kuvatuotteiden laatuun. Käytettävä kuvamateriaali saadaan joko analogisia kuvia skannaamalla tai digitaalisilla kameroilla. Kuvien prosessointimenetelmät kehittyvät jatkuvasti. Laatu on tärkeä kuvan käytettävyyteen vaikuttava seikka. Suomessa kuvatuotanto- ja laadunvalvontamenetelmiä ei ole vielä standardoitu.

Kiitokset

Radiometrisen laadun arviointiin on saatu aineistoa FM-Kartta Oy:ltä ja testikenttäkalibroinnin aineistot ovat Maanmittauslaitokselta. Lauri Markelin avusti artikkelissa esitettyjen histogrammikuvien tekemisessä. Haluan esittää kiitokset kaikille artikkelin tekemistä edesauttaneille.

Lähdeluettelo

Ahokas E., Kuittinen R., Jaakkola J, 2000. A system to control the spatial quality of analogue and digital aerial images. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33. Pp. 45–52.

Bignone, F., 2003. Processing of Stereo Scanner: from Stereo Plotter to Pixel Factory. In: Photogrammetric Week 2001, Fritch (ed.), s. 141–150.

Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura, 1993. Ohjeet tarkan fotogrammetrisen kartoitusmittauksen suorittamista varten. FKS julkaisu 1/1993.

Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura, 1995. Suositukset Suomessa tehtävälle mittaus- ja kartoitusilmakuvaukselle. FKS julkaisu 1/1995.

Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura, 1998. Digitaalisten ilmakuvien käyttö. FKS julkaisu 1/1995.

Holm, Mikael; Rautakorpi, Susanna, 1997. First results of parallel global object reconstruction using digitized aerial photographs. SPIE AeroSense'97 Conference: Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision III. Orlando, Florida 1997, pp. 165–175

Honkavaara, E., Kaartinen, H., Kuittinen, R., Huttunen, A., Jaakkola, J., 1999. Quality of FLPIS Orthophotos. Reports of the Finnish Geodetic Institute, 99:1, 33 sivua.

Honkavaara, E., Ilves R., Jaakkola, J., 2003. Practical Results of GPS/IMU/camera System Calibration. In: Proceedings of Workshop: Theory, Technology and Realities of Inertial/GPS Sensor Orientation. Castelldefels, September 22–23, 2003.

Honkavaara, E., 2003. Calibration Block Structures for GPS/IMU/Camera System Calibration. Photogrammetric Journal of Finland. (In press)

Ilves, R., 2003. Digitaaliset ilmakuva kamerat. Tässä julkaisussa.

JHS 153, 2003. Julkisen hallinnon suositus JHS 153: ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. <http://www.intermin.fi/intermin/hankkeet/juhta/home.nsf/suomi/suosituksset>

JHS 154, 2003. Julkisen hallinnon suositus JHS 154: ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako.

<http://www.intermin.fi/intermin/hankkeet/juhta/home.nsf/suomi/suosituksset>

Kaavoitusmittausohjeet, 2003. Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 94.

Kuittinen, R. (1993). Lentokoneesta ja satelliitista otettujen kuvien laadun tarkistus. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu n:o 30. s. 61–69.

Kuittinen R., Ahokas E., Högholen A., Laaksonen J, 1994. Test Field for Aerial Photography. The Photogrammetric Journal of Finland. Vol. 14, No 1, pp. 53–62.

Kuittinen R., Ahokas E, 1996. Transportable Test-Bar Targets and Microdensitometer Measurements: A Method to Control the Quality of Aerial Imagery. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 31 Part B1. Pp. 99–104.

Salmenperä, H. (1995). Maastotietotuotannon kalibrointitarpeet. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu n:o 32. s. 24–30.