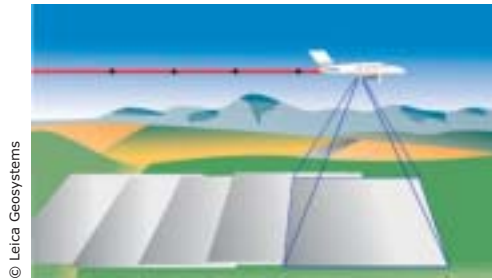
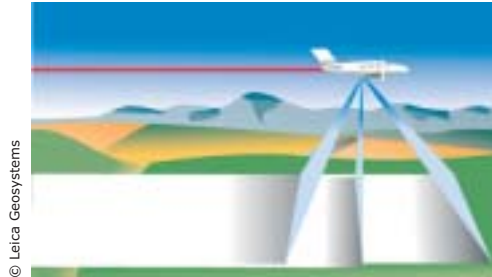


**Digitaaliset ilmakuvakamerat ovat tulleet markkinoille. Niiden käyttöön otto vaikuttaa laajasti ilmakuvien tuotanto- ja käyttöprosesseihin. Mitkä ovat digitaalikameroilla saavutettavat hyödyt? Onko niiden suorituskyky jo parempi kuin filmikameroilla? Maanmittauslaitoksen ilmakuvakeskus aloitti viime syksynä digitaalisten ilmakuvakameroiden (sensorien) testiohjelman yhdessä Geodeettisen**



**Kuva 1. Matriisikameran tuottaman kuvajoukon muodostusperiaate.**



**Kuva 2. Leica ADS40 -rivi-sensorin tuottaman kuvamaton muodostusperiaate.**

# Digitaaliset ilmakuvakamerat testissä

Juha Vilhomaa

**laitoksen kanssa. Loka-kuussa 2004 testattiin Vexcel UltraCam-D, ja kuluneen alkusyksyn aikana on lennetty Z/I Imaging DMC:n ja Leica ADS40:n testilentoja. UltraCam-D-testissä oli yhteistyökumppanina myös FM-Kartta Oy. Maanmittauslaitoksen näkökulmasta testien tarkoitus on selvittää, milloin maastotietotuotannossa on syytä siirtyä digitaalisilla kameroilla tuotettujen ilmakuvien käyttöön. Geodeettisen laitoksen tutkimukset kohdistuvat kuvalaatuun, kalibrointi- ja testausmenetelmien kehittymiseen sekä uusien sensoreiden käyttöön fotogrammetrisissa ja kaukokartoitussovellutuksissa.**

**K**aikki kolme edellä mainittua digitaalikameraa ovat tulleet markkinoille viimeisen viiden vuoden aikana. ADS40:n ja DMC:n prototyypit esiteltiin vuonna 2000 ja UltraCam-D vuonna 2004. Vuoden 2005 aikana markkinoille on tulossa lisäksi Jena-Optronik-yhtiön JAS 150, mutta sitä ei toistaiseksi liene saatavissa testikäyttöön. Nykyisin maailmassa myytyjen digitaalisten ilmakuvakameroiden kokonaismäärä on 70–80 kappaleen tienoilla. Verrattuna muuhun valokuvaukseen on ilmakuva-alalla digitaalisten kameroiden käyttöön otto ja yleistymisen ollut huomattavasti hitaampaa. Syyt siihen ovat osittain markkinoiden pienuus, jolloin laitteiden kehitystyö on hitaampaa kuin laajemmilla kuluttajamarkkinoilla tai esimerkiksi lääketieteessä. Lisäksi pienlentokoneessa vallitsevat olosuhteet, oma – ei aina kovin stabiili – sähköjärjestelmä, tärinä, kosteus sekä vaihteleva lämpötila asettavat laitteistolle kovat kestävyysvaatimukset.

Mainittujen suuriformaattisten kameroiden lisäksi ilmakuvauksessa voidaan käyttää pieniformaattisempia digitaalikameroita erikoissovelluksissa, kuten tielinjojen tai pienten kohteiden kuvauksessa, mutta laajojen alueiden kuvaamiseen on taloudellisinta käyttää suuriformaattisia kameroita.

ADS40:n testi tehtiin osana Viron maanmittauslaitoksen (Maa-ametin) kamerahankintaa. Ilmakuvakeskus on osallistunut kyseiseen hankintaan jo aiemmin konsultoimalla virolaisia heidän tarjouspyyntönsä teknisissä kysymyksissä ja osallistumalla tarjousten arviointiin. Leica luovutti kamerasen Viron maanmittauslaitoksen kuvauskoneeseen testausta varten. Sjäskullan kalibrointikentän (kuvat 3–5) lisäksi kuvattiin erityyppisiä kohteita Virossa ja Etelä-Suomessa.

Kun tänä syksynä loppuunsaatetuilla testilentoilla kerätty kuva-aineisto

saadaan analysoitua, voidaan verrata kaikkien kolmen nyt markkinoilla olevan perinteisen ilmakuvakameran korvaajaksi ehdolla olevan digitaalsensorin suorituskykyä filmikameran suorituskykyyn. Kansainvälisestikin testit tekee mielenkiintoiseksi nimenomaan se, että samalla lennolla on saatu vertailuaineistoksi filmikameran kuvaa, koska MML:n kuvauskoneessa voidaan samanaikaisesti käyttää kahta kameraa. Yleensä ilmakuvauksineissa on mahdollisuus käyttää vain yhtä kameraa kerrallaan. Geodeettinen laitos vastaa kuvien laadun (spatiaalinen erotuskyky, radiometrinen laatu, geometrinen tarkkuus) analysoinnista, ja ilmakuvakeskuksen vastuulle jää uusien sensorien käytettävyyden ja niiden prosessiin soveltuvuuden tutkiminen. Lisäksi testeissä selvitetään digitaalikameran vai- kutusta ilmakuvauksen kustan- nuksiin ja käytettävissä olevaan päivittäiseen kuvausaikaan.

### Digitaalisten ilmakvasensorien toimintaperiaatteet

Testatuista kameroista *ADS40* on rivisensori, joka tuottaa jatkuvaa kuvamattoa stereopeitolla, muut ovat perinteisempiä matriisisensoreita. Tiedon rekisteröinnissä käytetään CCD-kennoja. Koska perinteisen filmikameran kuvaformaattiin nähden vertailukelpoisia CCD-kennoja ei toistaiseksi pystytä valmistamaan, on matriisi- kamerat suunniteltu siten että niissä on useita optiikka-CCD-kennoyhdistelmiä (kuva 7) joiden muodostamat osakuvat prosessoidaan yhdeksi laajem- maksi, yhtenäiseksi kuvaksi. Filmikameran kuvaformaatti on 23 cm × 23 cm, ja pikseleinä ajateltuna se vastaa suuruusluo- kaltaan 20 000 × 20 000 pikseliä. Nykyisin suurimmat CCD-kennot ovat suuruusluokaltaan 9 000 × 9 000 pikseliä, mutta niitä ei ole saatavissa kaupallisiin sovelluk- siin. Esimerkiksi *DMC*:ssä on pankromaattisen kennon koko noin 4 000 × 7 000 pikseliä, ja koko kuva-ala, joka siis on koos- tettu useammasta osakuvasta, on kooltaan noin 7 000 × 13 000 pikseliä. Rivisensorissa tarvitaan vain yksi optiikka, mutta siinä kuvan rekisteröinti tapahtuu yksiulotteisen CCD-kennon (rivin) avulla. Sen avulla kerätyt kuva- linjat pitää liittää toisiinsa lennon aikana



**Kuva 3. Z/I Imaging DMC -kameralla syyskuussa 2005 kuvattu kuva, kuvan keskellä Sjökillan kalibrointikenttä. Kuvauskorkeus 800 m.**



**Kuva 4. Vexcel UltraCam-D:llä lokakuussa 2004 kuvattu kuva samasta kohteesta. Kuvauskorkeus 888 m.**



**Kuva 5. Leica RC20 -filmikameralla kuvattu kuva samasta kohteesta, samalla lennolla Ultra-Cam-D:n kanssa.**

tehtävien GPS-inertiamittausha- vaintojen avulla. Rivisensorin käytön edellytys on siis jatkuvas- ti toimiva GPS-inertiapaikannus, jonka avulla määritetään tarkasti suurella taajuudella sensorin sijainti ja kallistukset.

Kumpikin sensorimalli edel- lyttää kuvien jälkiprosessointia, ennen kuin kerätty raakadata so- veltuu mittaamiseen tai muuhun kuvankäsittelyyn. Selvänä etuna filmikameraan nähden on, että samalla kuvauksella saadaan tallennettua pankromaattinen (mustavalkoinen) kuva, sekä väri- ja väri-infrakuvat.

### Testeissä tutkittavat asiat

Sjökillan kalibrointikentällä on erotus- kykykuvioita, harmaakiiloja ja runsaasti signaaleja kuvien laadun tutki- mista varten. Kalibrointikenttää tarvitaan paitsi kuvien laadun analysointia varten, myös il- makuvauksessa käytettävien inertiamittauslaitteiden ja koko kuvausjärjestelmien kalibroi- miseksi.

Digitaalisen kameran eduksi voidaan lukea niiden parempi radiometrinen laatu. Digitaali- kameran avulla kerätyissä kuvissa sävyntoiston pitäisi siis olla selvästi parempi skannattuihin filmikuviiin verrattuna. Digitaalikameran etuna on lisäksi se, että kuvilla ei ole rakeisuutta ja kohina on vähäisempää. Prosessointiin liittyvä selvä etu on se, että filmiä ei enää tarvita, eikä niin muodoin enää filminkehitystäkään eikä skannausta. Toisaalta uusina työvaiheina ilmakuvauk- seen tulee mukaan massiivisten datamäärien tallennus ja siirtely, sekä kerätyn raakakuvadatan prosessointi. Yhden tehokkaan ilmakuvaukspäivän aikana saattaa syntyä noin teratavun luokkaa oleva datamäärä.

Tehtyjen testien perusteella datan siirtelyyn ja prosessointiin tarvittava aikamenekki on samaa suuruusluokkaa kuin filminke- hitykseen ja skannaamiseen tar- vittava työaika, vaikkakin siihen voidaan vaikuttaa käytettävien tietokoneiden tehokkuudella.

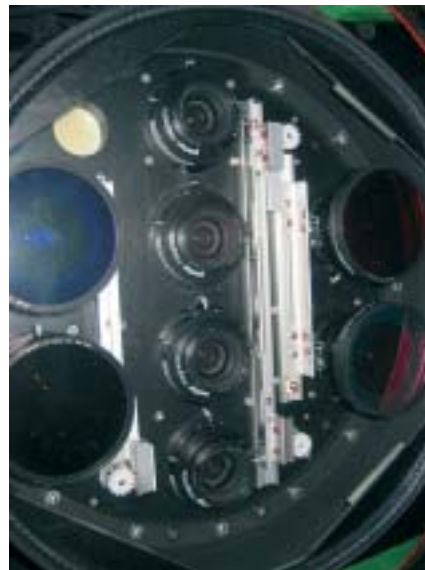
Toistaiseksi tehtyt *Ultra-Cam-D*:n kuvien analyysit osoittavat, että niiden spatiaalinen erotuskyky on selvästi heikompi kuin samalla lennolla otettujen filmikamerakuvien. Spatiaalisella erotus- kyvyllä tarkoitetaan sitä, miten kapeat



**Kuva 6. DMC-kameran testilennolla.**

kalibroitentien erotuskykykuvion mustat ja valkeat viivat vielä erottuvat toisistaan. Jopa 20 mikrometrin pikselikoolla skannattujen filmikuvien erotuskyky on selvästi parempi, ja ero korostuu kun filmikuvat skannataan 10 mikrometrillä. Vastaavasti *UltraCam-D*:n radiometrisen erotuskyky on teorian mukaisesti selvästi filmikameran kuvaa parempi, eli kuvilla näkyvät harmaakiilan sävyerot paremmin. Tämän vuoksi vähäkontrastisilla kohteilla *UltraCam-D*:n spatiaalinen erotuskyky lähenee filmikameran erotuskykyä, ja voi olla jopa parempikin, kun kohteiden kontrasti on hyvin pieni. Kuvien geometrinen laatu on tärkeä, kun kuvilta halutaan tehdä mittauksia, ja sitä tutkittiin tekemällä ilmakolmiointeja. Niiden perusteella näyttää siltä, että skannattujen filmikuvien ja *UltraCam-D*:n kuvien välillä ei ole suurta eroa, ja molempien geometrinen laatu on hyvää luokkaa (viitteet 1 ja 2). Geodeettinen laitos on analysoinut myös kahdella muulla *UltraCam-D*:llä tuotettuja kuvia, ja niiden tulokset ovat samansuuntaiset kuin ilmakuvakeskuksen testissä, joskin kameroissa näyttää olevan jonkin verran yksilöllisiä eroja.

Kameran vaikutus ilmakuvauskustannuksiin riippuu suurimmaksi osaksi sen kuva-alan leveydestä. Mitä leveämpi kuva on, sitä harvempia lentolinjoja tarvitaan kattamaan haluttu kuvausalue ja sitä alhaisemmat lentokustannukset ovat. Lähes yhtä merkittävää on se, että Suomen



**Kuva 7. UltraCam-D:n optiikka.**

oloissa ilmakuvaamiseen sääolosuhteitaan riittävän selkeitä kuvaustunteja on vuodessa kovin vähän, ja mitä nopeampaa ja tehokkaampaa kuva-aineiston keruu on, sitä isompi ala pystytään kuvaamaan hyvien olosuhteiden aikana. Jos testeissä pystytään osoittamaan, että ilmakuvaaminen digitaalikameralla onnistuu filmikameraa huonommissa valaistusolosuhteissa (ma-

talammalla auringon korkeuskulmalla), on se selvä etu filmikameraan verrattuna.

Toistaiseksi vain *UltraCam-D*:n kuvat on analysoitu, ja niiden tuloksia on julkaistu. Geodeettisen laitoksen tutkimustuloksia on esitetty joissakin alan seminaareissa ja niitä julkaistaan myös alan lehdissä. Testeissä hankittua kuva-aineistoa on toimitettu myös muihin tutkimushankkeisiin, mm. Stuttgartin yliopistoon ja sensorien valmistajille. Muiden sensorien kuva-aineistoa tutkitaan kuluvan syksyn ja talvena aikana, ja valmiita tuloksia on luvassa ensi keväänä.

Testien tarkoituksena siis on selvittää, milloin maastotietotuotannossa on tarkoituksenmukaista siirtyä digitaalisella kameralla tuotettujen kuvien käyttöön. Siirtymisen edellytyksenä on ainakin se, että digitaalikameralla pystytään tuottamaan selvästi parempilaatuisia kuvia kuin filmikameralla, kuvien tuotantokustannukset alenevat, tai kuvien tuotanto- ja käsittelyprosessit tehostuvat selvästi. Ja tärkeintä on, että kuviin perustuva maastotietojen tuotantoprosessi pystyy käyttämään kuvia ja niiden uusia ominaisuuksia tehokkaasti.

**Kirjoittaja on Maanmittauslaitoksen ilmakuvakeskuksen johtaja.  
Sähköposti juha.vilhomaa@maan-mittauslaitos.fi.**

#### VIITTEET

1. In-flight Performance Evaluation of Digital Photogrammetric Sensors. E. Honkavaara ym. ISPRS Workshop Hannover 2005.
2. Radiometric Quality Comparison of UltraCam-D and Analog Camera. L. Markelin ym. ISPRS Workshop Hannover 2005.