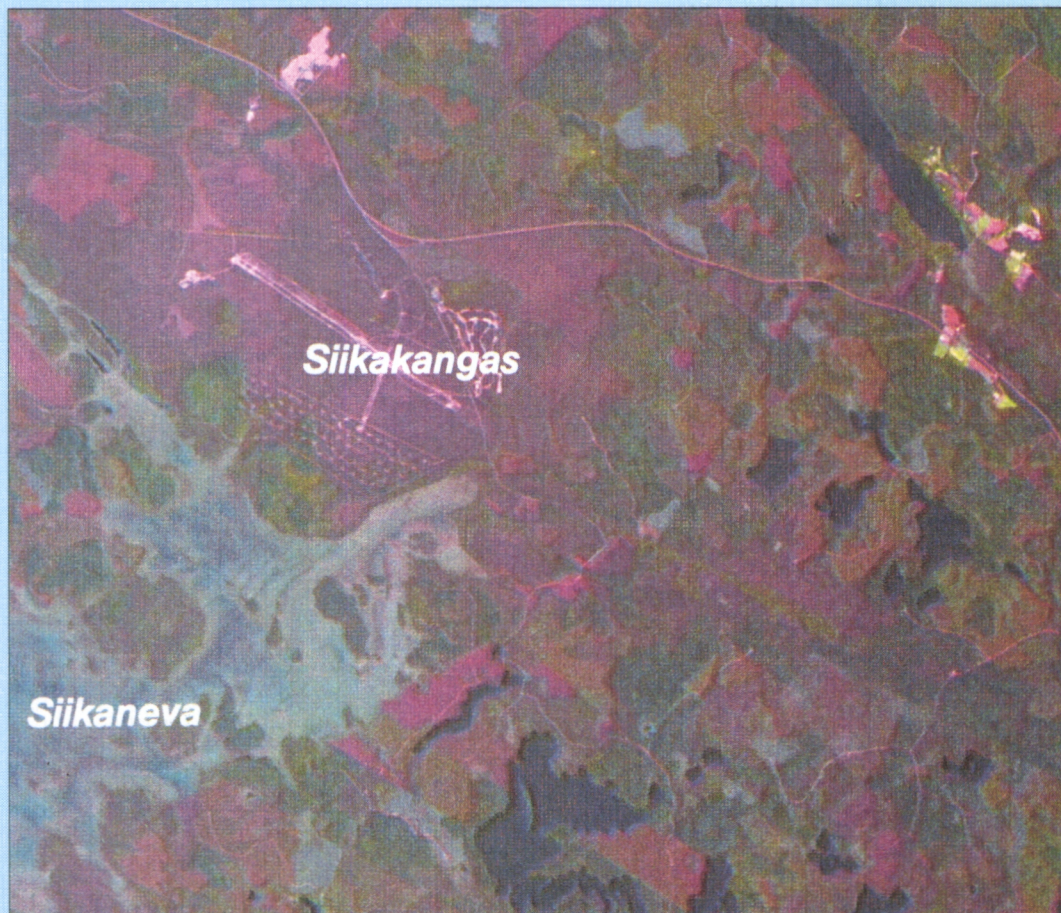




Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
Metsäinventoinnin tutkimussuunta



SPOT IMAGE © CNES 1988

## KAUKOKARTOITUS METSÄTALOUDESSA

Seminaariesitelmät 7.6.1988

Toimittaneet: Tuomas Häme, Antti Ihalainen ja Markku Kanninen

Kannen kuva:

Landsat TM-kuvasta tehty värikompositio ja Spotin pankromaattinen kanava on yhdistetty ns. Intensity Hue Saturation-tekniikalla. Pikselikoko on  $10 \times 10 \text{ m}^2$ . Kuvan käsittelyyn ovat tehneet VTT ja MMH ja kuva on osa maanmittaushallituksen vuoden 1988 kalenterikuvasta.

Tumma vihreä on kuusi- ja punertava mäntymetsää. Taimikot ovat punertavan vihreitä, pellot yleensä kirkkaan vihreitä ja suot sinipunaisia. Kuvan oikeassa yläalaidassa näkyy Hyytiälä.

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 316

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
Metsäninventoinnin tutkimussuunta

## KAUKOKARTOITUS METSÄTALOUDESSA

Seminaariesitelmät 7.6.1988

Toimittaneet:

Tuomas Häme, Antti Ihalainen ja Markku Kanninen

Helsinki 1988

## KAUKOKARTOITUS METSÄTALOUEDESSA - MISSÄ MENNÄÄN?

Kiinnostus satelliittikuvien hyödyntämiseen metsätaloudessa on kasvanut viime vuosina. Rajallisten tutkimuspanosten järkevää käyttöä sekä uusien menetelmien tuntemusta ja käyttöönottoa voidaan edistää tutkijoiden ja tulosten hyväksikäyttäjien välisellä yhteydenpidolla. Tässä mielessä Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö järjesti 7.6.1988 kaukokartoituksen neuvottelupäivän alan tutkijoille ja tiedon soveltajille Postipankki Oy:n ystävällisellä tuella.

Koska kaukokartoituksen tutkimustuloksia on esitelty viime aikoina melko tiiviisti, nyt järjestetyn neuvottelupäivän esitelmissä sivuutettiin tutkimustulosten yksityiskohdat ja pohdittiin sen sijaan kaukokartoituksen avaamia näköaloja metsätaloudessa.

Esitelmien pohjalta käydyissä keskusteluissa korostettiin tarvetta tehostaa metsien kaukokartoituksen tutkimusta ja koulutusta. Tämä on välttämätöntä sekä uusien menetelmien suomien käyttömahdollisuuksien selvittämiseksi että riittävästi alaa hallitsevien ammattilaisten kasvattamiseksi. Lisäksi tuotiin esille se, että vaikka kaukokartoituksen vahvimpana käyttöalueena on perinteisesti ollut metsävarojen inventointi, niin uudet haasteet odottavat metsäekologisessa tutkimuksessa ja metsien terveydentilan seurannassa.

Tähän kirjaseen on koottu neuvottelupäivän aikana pidetyt esitelmät. Mukaan on liitetty alunperin maanmittaushallituksessa laadittu, tätä julkaisua varten päivitetty luettelo kaukokartoitusalan tutkimusta, koetoimintaa tai sovellusta harjoittavista organisaatioista ja yrityksistä.

Helsingissä 9.9.1988

Tuomas Häme

Antti Ihalainen

Markku Kanninen

ISBN 951-40-1026-4

ISSN 0358-4283

## SISÄLLYS

|   |    |
|---|----|
| Kirjoittajat.....   | 4  |
| Kullervo Kuusela: Kaukokartoitus metsätaloudessa.....   | 5  |
| Simo Poso: Satelliittikuvien tutkimus metsänarvioimis-<br>tieteen laitoksessa.....  | 8  |
| Pekka Kilkki: Satelliittikuvat valtakunnan metsien<br>inventoinnissa.....   | 17 |
| Tuomas Häme: Metsän kaukokartoitustutkimus VTT:ssa....  | 21 |
| Seppo Havu: Tutkimuksen rahoitus.....   | 26 |
| Risto Kuittinen: Havaintolaitteiden ja aineiston<br>kehitys.....  | 30 |
| Heikki Luukkonen: Neuvostoliittolaiset satelliitti-<br>kuvat.....   | 34 |
| Asko Saatsi: Perinteinen ja uusi kaukokartoitustek-<br>niikka metsähallinnon palveluksessa.....   | 37 |
| Bjarne Häggman: Kaukokartoitustekniikka yksityis-<br>metsätaloudessa.....   | 42 |
| Hannu Hokkanen: Ilma- ja satelliittikuvien käyttö metsä-<br>talouden suunnittelussa Enso-Gutzeit Oy:ssä ja niiden<br>käytön kehittämistarpeita..... | 48 |
| Jussi Paavilainen: Kaukokartoitus maanmittaushalli-<br>tuksessa.....  | 52 |
| Pertti Veijalainen: Kaukokartoitus metsäteollisuudessa<br>- missä mennään? Konsultti ja kaukokartoitus.....   | 56 |
| Matti Määttä: Kaukokartoitus ja kaukomaat. Kokemuksia<br>kehitysyhteistyöhankkeesta.....  | 60 |
| Kaukokartoituksen parissa työskentelevät laitokset<br>Suomessa.....   | 66 |
| Osallistujat.....   | 69 |

## KIRJOITTAJAT

Hall.neuvos Seppo Havu  
Maa- ja metsätalousministeriö  
Hallituskatu 3 A  
00170 HELSINKI

Osastopäällikkö Heikki Luukkonen  
Finnmap Oy  
PL 75  
00511 HELSINKI

Metsätalousins. Hannu Hokkanen  
Enso-Gutzeit Oy  
Metsätoimiala  
55800 IMATRA

MH Matti Määttä  
Metsähallitus  
Tuotanto-osasto  
PL 233  
00121 HELSINKI

MH Bjarne Häggman  
Keskusmetsälautakunta Tapio  
Maistraatinportti 4  
00240 HELSINKI

DI Jussi Paavilainen  
Maanmittaushallitus  
Ilmakuvatoimisto  
Opastinsilta 12  
00520 HELSINKI

MML Tuomas Häme  
VTT  
Instrumenttitekniikan lab.  
Vuorimiehentie 5  
02150 ESPOO

Professori Simo Poso  
Helsingin yliopisto  
Metsänarvioimistieteen laitos  
Unioninkatu 40 B  
00170 HELSINKI

Va. prof. MMT Pekka Kilkki  
Metsäntutkimuslaitos  
Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
PL 37  
00381 HELSINKI

MMK Asko Saatsi  
Metsähallitus  
Tuotanto-osasto  
PL 233  
00121 HELSINKI

DI Risto Kuittinen  
VTT  
Instrumenttitekniikan lab.  
Vuorimiehentie 5  
02150 ESPOO

MH Pertti Veijalainen  
Jaakko Pöyry Oy  
PL 16  
00441 HELSINKI

Professori Kullervo Kuusela  
Jaakko Pöyry Oy  
PL 16  
00441 HELSINKI

## KAUKOKARTOITUS METSÄTALOUESSA

Kullervo Kuusela

Kaukokartoitus on metsätalouden työväline tietojen saamiseksi metsän tunnuksista ja niiden kehittymisestä. Suomenkielinen sana ei ole paras mahdollinen. Se sanoo vähemmän kuin englannin kielinen "remote sensing". Hämmennystä aiheuttaa usein vastaan tuleva epätietoisuus, tarkoitetaanko käsitteellä vain satelliitti-informaatiota tai sen lisäksi myös jo puolisen vuosisataa käytössä olleita lentokoneesta otettuja valokuvia.

Tässä kaukokartoitukseen sisältyy kaikki maan pinnalta ja metsästä ylöspäin heijastuvan säteilyn taltioiminen ja siitä saatavan tiedon toteaminen ja käsittely. Taltiointi voi olla valokuvaamista tai säteilyn aallonpituuskaistojen numerollista rekisteröimistä, mikä jälkimmäinenkin voidaan palauttaa kuvaksi.

Taltioimiselle on olennaista sen tapahtuminen ihmisen välittömien havaintojen ja mittauksen ulottumattomissa. Varsinainen tieto saadaan katselemalla, tulkitsemalla ja mittaamalla kuvia sekä numeroanalyysinä.

Kaukokartoituksen potentiaalinen hyöty metsätaloudelle on erittäin suuri. E erityisesti pohjoisen havumetsän laajajäräisissä olosuhteissa se on niin suuri, että sitä ei vielä tälläkään hetkellä täysin tajuta. Jos hyöty tajuttaisiin, kaukokartoitusta käytettäisiin nykyistä paljon enemmän ja monipuolisemmin. Hidastavana tekijänä on koulutetun henkilöstön ja välineiden vähäisyys, jotka nekin johtuvat pääsyystä, hallinnosta ja rahoituksesta vastuullisten lyhytnäköisestä vanhoillisuudesta.

Harhoja on myös varsinaisilla kaukokartoituksen käyttäjillä ja metsänarvioimista päätyönään tekevillä. Niistä pahin on "yhden aseensa parhaana pitäminen". Yksi luottaa pelkkään maastoarviointiin, toinen uskoo selviävänsä pelkästään ilmakuvilla ja kolmas saa kaiken tarpeellisen tiedon satelliitti-informaatiosta. Kuitenkin luotettavaa tietoa saadaan vain tehtävään sopivalla aseiden yhdistelmällä.

Enemmän huvittavia kuin vaarallisia ovat ne intoilijat, jotka kuvittelevat satelliittikuvia katselemalla saavansa enemmän tietoa metsävaroista kuin metsän kenttämittaajat. Jos mukana on voimakas tarkoitushakuisuus, pelkällä katselulla näkee mitä haluaa nähdä.

Kaukokartoituksen menestyksellisen käytön keskeinen periaate on selvittää taltioidun säteilyn ja metsän maastossa havaittujen sekä mitattujen tunnusten väliset regressiot ja niiden luotettavuus sekä määrittää regressioita hyväksi käyttäen metsän tunnuksia.

Kaukokartoituksen teknologia on erittäin nopean kehittymisen vaiheessa. Taltioitavan säteilyn erotuskyky paranee niin kohteen koon kuin sävyjen osalta. Ihmisen laitteillaan lähettämän säteilyn ja sen heijastumisen taltioiminen vapauttavat tiedonsaannin vuoden ja vuorokauden ajan sekä sään rajoitteista. Myös tietojen käsittelyn ja analyysin tekniikka paranee. Ellei kehitystä seurata tarkasti, voi joutua yllättäen toteamaan, että tämän päivän "huipputeknologia" on huomisen antiikkia.

Metsänarvioimisen nykyvaiheessa ja kaukokartoituksen soveluksissa tarvitaan taitoa hahmottaa tärkeimmät mahdollisuudet ja tehtävät käytettävissä olevien henkilöstö- ja kalustoressurssien puitteissa sekä tahdonvoimaa tehdä, mikä on tehtävissä ja tehtävä.

Aika on tietojen tarpeen osalta haastava. Metsäluonto, metsävarat ja niiden hyväksikäyttö ovat suurien muutosten alaiset. Puuston yli-ikäistyminen ja ylitiehytyminen,



metsänhoidon rästit sekä jätelaskeumien ja ilmaston muutosten aiheuttamat muutokset metsän ekosysteemeissä sekä metsävaroissa edellyttävät nopeita ja luotettavia seurannan menetelmiä.

Tehtävistä ei selvitä kunnialla, ellei saada nopeasti aikaan maastotutkimusten ja kaukokartoituksen integroitua ja mahdollisimman pitkälle automatisoitua metsävarojen määrän, rakenteen ja laadun sekä metsäekosysteemien tapahtumisen arvioinnin ja seurannan järjestelmää.

Alkava kaukokartoituksen päivä on tarkoitettu nykyisen tilanteen, käynnissä olevien tutkimusten ja kehitystehtävien, mahdollisuuksien ja haasteiden katselmukseksi. On toivottava ja vaadittava, että päivä edistää alan tutkijoita, kehittäjiä ja soveltajia kokoamaan resurssit ja pyrkimykset yhteisten tavoitteiden tunnistamiseen ja saavuttamiseen. Toimiva ihanne ei ole keskusjohtoinen ohjelmointi ja resurssien sekä tehtävien jakaminen, vaan useiden itsenäisten työyksiköiden ja niistä vastuullisten hakeutuminen omaehtoiseen järkevään yhteistyöhön. Ohjeeksi soveltuu runoilijan oivallus: Metsän kaukokartoittajat tekevät yhdessä yhteistä työtään silloinkin, kun he ovat kaukana toisistaan.

Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö ansaitsee parhaan kiitoksen otettuaan kaukonäköisesti metsän kaukokartoituksen päivän niukkojen mutta viisaasti kohdennettujen resurssiansa kohteeksi.

## SATELLIITTIKUVIEN TUTKIMUS METSÄNARVIOIMISTIETEEN LAITOKSESSA

Simo Poso

### Yleistä

Satelliittikuvien metsätaloudelliset käyttömahdollisuudet ovat olleet yleisen kiinnostuksen kohteina vasta muutamien vuosien ajan. Nyt näyttää varmalta, että satelliittikuvilla tulee olemaan suuri merkitys metsien inventoinnissa ja seurauksessa. Mielenkiinto kohdistuu lähinnä siihen millä tavalla ja kuinka nopeasti satelliittikuvat tulisi ottaa käyttöön.

Suomessa satelliittikuvia on tutkittu kohtuullisen paljon. Metsäntutkimuslaitoksessa tutkimus aloitettiin jo 1960-70 lukujen vaihteessa sääsatelliittikuvilla ja ensimmäisillä Landsat kuvilla. Tavoitteena oli alusta lähtien numeerinen tulkinta. Kuvien digitointi manuaalisesti tuotti kuitenkin paljon työtä. Kun VTT:n maankäytön laboratorio sai kuvatulkiintaan soveltuvan laitteiston, tyrehtyi satelliittikuvien käyttökelpoisuuden tutkimus kaikkialla muualla joskin aikaa.

Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksessa satelliittikuvia ryhdyttiin tutkimaan 1982. Tällöin rahoitusta saatiin Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiöltä kahden vuoden hankkeeseen. Vuoden 1983 alusta aloitettiin yhteispohjoismainen, SNS (Samarbetsnämnden för Nordisk Skogsforskning) tutkimushanke, jonka avulla metsänarvioimistieteen laitokseen on voitu palkata yksi tutkija. SNS hanke jatkuu vuoden 1988 loppuun. Kuluvana vuonna rahoitus on ollut kaiken kaikkiaan suhteellisen hyvä, sillä henkilöpalkkaukseen varoja on saatu SNS:n lisäksi myös Suomen Luonnonvarain tutkimussäätiöltä, Suomen Akatemialta ja maa-

ja metsätalousministeriöltä. Lisäksi laitoksella on tutkimussopimus Sipoon metsien inventoimiseksi ja seuruusysteemin luomiseksi.

Lähtökohtana metsänarvioimistieteen laitoksessa tehdyille tutkimukselle on ollut alusta lähtien kaksivaiheinen otanta osituksella. Se on mm. Shikui Pengin (1987) väitöskirjatutkimuksen perusteella likimain yhtä tehokas kuin tehokaimmat vaihtoehtoiset menetelmät ja lisäksi se on perusrakenteeltaan kohtuullisen yksinkertainen ja soveltuu monien muuttujien inventointiin samanaikaisesti. Menetelmän perusratkaisut ovat lähellä kaksivaiheista ilma- ja maastokoealoihin perustuvaa menetelmää, jota on sovellettu valtakunnan metsien inventointeihin Pohjois-Suomessa. Menetelmää on selostettu mm. tutkimuksessa Poso, Paananen ja Similä (1987).

#### **SMI-kuvatyöaseman kehittäminen**

Tutkimusta metsänarvioimistieteen laitoksessa on haitannut kuvien numeeriseen käsittelyyn soveltuvan erityislaitteiston puute. Tilanteeseen lähdettiin etsimään halpaa ratkaisua kuvatyöaseman saamiseksi. Yhteistyökumppani löytyi Tampereen teknillisen korkeakoulun tietotekniikan tutkimuslaitoksesta ja karttatiedon käsittelyn osalta työaseman kehittämisessä on oltu kiinteässä yhteistyössä Timo Pekkosen kanssa. Rahoitusta tähän osaan on saatu TEKESistä ja Enso-Gutzeitista. Olennaista työn alkuun saattamiselle oli metsänarvioimistieteen laitokselle SKOPsta saatu rahalahjoitus.

Tutkimus- ja kehitystyöhankkeelle, jonka ensisijaiseksi tavoitteeksi otettiin halvan ja käyttökelpoisen kuvatyöaseman kehittäminen metsäinventointeihin, annettiin nimeksi SMI-hanke "Satelliittikuvat metsien inventoinnissa". Nyt SMI-kuvatyöasema on toimintakunnossa, mutta valmiiksi sitä ei tultane saamaan milloinkaan. Sitä mukaa kun laitteistot kehittyvät tarvitaan uusia laitteistokytkentöjä ja varsinaisella ohjelmistopuolella on löydettävissä entistä tehokkaampia ohjelmistoja ainakin erikoistilanteisiin.

Nyt kuvatyöasema koostuu seuraavista osista:

Laitteisto:

- mikrotietokone 80287 suorittimella
- EGA näyttölaite
- RGB kuvamonitori
- kuvaprosessori SPAM 512
- kovalevy 45 MB
- hiiri

Ohjelmisto:

- käyttäjäliityntä ja kuvankäsittely (C-kielellä)
- karttaohjelmisto, TOPOS (C-kielellä)
- sovellusohjelmisto (FORTRAN-kielellä).

Tampereen tehtäväksi tuli rakentaa mikrotietokoneeseen C-kielellä käyttäjäliityntä sekä kuvankäsittelyohjelmat sen mukaan kuin yhdessä katsottiin tarpeellisiksi erityisesti metsäinventointeja varten. Tämän osan päävastuullinen on insinööri Matti Karlsson. Hänen työnsä on samalla diplomityö, jossa ohjaajina ovat olleet lähinnä professori Yrjö Neuvo ja lisensiaatti Jouko Viitanen.

Karttaohjelmiston kehittäminen ja sovittaminen SMI-kuvatyöasemaan tuli VL Timo Pekkosen tehtäväksi ja varsinainen sovellusohjelmisto tehtiin metsänarvioimistieteen laitoksessa niiden kokemusten mukaisesti, joita laitoksessa tehtyjen aikaisempien tutkimusten yhteydessä oli saatu. Tämä työ henkilöityy lähinnä MH Pekka Härmään. Muina tekijöinä tulevat mainittaviksi FK Markku Similä, MMT Shikui Peng, MH Mark Waite ja VK Ari Veijanen.

Karttaohjelmisto, TOPOS, on tehty C-kielellä. Ohjelmisto antaa mahdollisuuden digitoida kuviorajat digitointipöydältä tai suoraan hiirellä SMI-kuvatyöasemalla. Yhtenäiskoordinaatein määritellyt pisteet, esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinnin koealat saadaan näkyviin kuvaputkessa olevan kuvan päälle, mikä auttaa koealojen paikantamisen tarkkuuden kontrolloinnissa ja virheellisten paikantamisten korjauksessa. Ohjelmiston avulla voidaan myös laskea kuinka kaukana mikin pikseli tai mielivaltainen piste on lähimmästä kuvion rajasta. Tällä on suuri merkitys pikseli-

ja koealatiedon käsittelyssä. Jos käytössä on digitoitua peruskarttaa tai muualta saatua korkeuskäyrätietoa, voidaan TOPOS-ohjelmalla laskea maaston muoto, esimerkiksi kaltevuuden aste ja suunta.

Tärkeä perusratkaisu on, että kaikki tieto mikä käsittelyyn otetaan, esimerkiksi satelliittikuvien pikselitieto, karttatieto ja ensimmäisen vaiheen koealatieto, paikannetaan samassa koordinaatistossa, yleisten suositusten mukaisesti yhtenäiskoordinaatistossa.

SMI-kuvatyöaseman kehittämisessä pidettiin tärkeänä, että satelliittikuva ja karttatieto saadaan kuvamonitoriin yhtäaikaisesti ja että näiden elementtien sijaintia voidaan muuttaa interaktiivisesti toinen toistensa suhteen. Aikaisemmin ilman kuvatyöasemaa työskenneltäessä oli todettu, että satelliittikuvalla ja kartalla olevien vastinkohtien paikantaminen ei yleisten muunnosfunktioiden avulla ollut aina riittävän tarkkaa. Paikantamisen varmistamisen merkitys kasvaa siirryttäessä kehitysmaaosuhteisiin, joissa karttatietojen sijaintitarkkuus on joskus hyvinkin heikkoa kuten todettiin Amanin alueella Tansaniassa (Tapio Räsänen 1988).

### Sovellusohjelmiston kuvaus

SMI-kuvatyöaseman sovellusohjelmiston lähtökohtana on ollut kaksivaiheinen otanta. Kehittelytyön pohjaksi on valittu seuraavat perusratkaisut:

- a) Ensimmäisen vaiheen otosyksiköt paikannetaan satelliittikuvan pikseleistä riippumatta koordinaattipisteinä.

Edellä esitetty ratkaisu on laskennallisesti hiemen hankalampi kuin jos otosyksiköksi olisi otettu satelliittikuvan pikseli. Ratkaisuun oli vaikuttamassa kuitenkin se, että näin eri kuvista saatavat apumuutujatiedot saadaan tarkasti samapaikkaisiksi mahdollisia vertailuja varten sekä se, että maastokoealat ja erityisesti pysyvät maastokoealat voidaan kytkeä systeemiin ongelmitta.

b) Systeemi on avoin kaikenlaiselle apumuuttujatiedolle.

Apumuuttujatieto on ensimmäisen vaiheen tietoa, jota systeemissä käytetään ensimmäisen vaiheen otosyksiköiden ositukseen. Apumuuttujatieto on käyttökelpoista vain siinä tapauksessa, jos sen ja tavoitteena olevan lopullisen ja todellisen tiedon välillä vallitsee korrelaatiota. Apumuuttujatiedolta vaaditaan myös alhaista otosyksikkökohtaista kustannusta tiedon hankinnassa verrattuna "maastotiedon" kustannukseen. Lainausmerkkejä on käytetty sen takia, että "maastotieto" viittaa tässä yleensä tietoon, joka täyttää sellaisenaan tarkkuusvaatimukset oli se mitattu vaikkapa lentotähystyksellä tai ilmakuvista.

Edellä esitetyn apumuuttujatiedon määrittelyn perusteella metsäinventoinneissa ja seurussa kysymykseen tulevaa apumuuttujatietoa on mahdollista saada mm. satelliittikuvista, ilmakuvista, videokuvista, kartoista sekä maastomittauksista, jotka eivät vanhentuneisuutensa takia tai muusta syystä (esimerkiksi kuvioittainen arviointi) täytä maastotiedolle asetettuja tarkkuusvaatimuksia.

c) Systeemin on sovelluttava monitavoitteisiin inventointi- ja seurutilanteisiin.

Metsäinventoinneissa kiinnostuksen kohteena ovat yhtäaikaaisesti monet tunnuksat. Inventointimenetelmän suunnittelussa voidaan jossain määrin painottaa eri tunnuksien inventoinnin tärkeyttä erityisesti maastokoealojen kiintiöinnillä ja mittaustavalla. Systeemiin kuuluu mahdollisuus laskea estimaatteja kaikille niille tunnuksille, joita maastossa on mitattu. Estimoinnin tarkkuustaso eri tunnuksien suhteen vaihtelee usein erittäin paljon. Kaikilla lasketuilla tuloksilla ei huonon tarkkuuden takia ole arvoa. Kysymys siitä, missä käyttökelpoisuuden raja kulkee, jää ratkaistavaksi tapauksittain.

d) Systeemin on sovelluttava metsässä tapahtuneiden muutosten inventointiin ja seurukseen.

Satelliitiekuvien potentiaalinen hyöty perustuu suurelta osalta kuvien helppoon saantiin toistuvasti, jolloin päästään tehokkaasti arvioimaan metsässä tapahtuneita muutoksia. Muutosten seurukseen ja hyväksikäyttöön on edullista kytkeä se tieto, joka puiden ja metsiköiden kehityksestä on olemassa, esimerkiksi ne kehitystä kuvaavat mallit, jotka ovat MELA-ohjelmistossa. Myös muiden eriaikaisien tietomateriaalien hyväksikäyttö korostuu.

e) Systemin on oltava tehokas sekä pienten että suurten alueiden inventoinnissa.

Yksinkertaisessa maasto-otannassa, kuten valtakunnan metsien inventoinnissa Etelä-Suomessa, hehtaarikohtaisten tunnusten arviointitarkkuus paranee kun tarkasteltavan alueen pinta-ala kasvaa. Sama ominaisuus on toivottava myös satelliittiekuvia käytettäessä. Tämä on aluetta, johon satelliittiekuvien metsätaloudellisissa soveltamistutkimuksissa ei ole kiinnitetty riittävästi huomiota.

#### **Yleisiä systeemin soveltamiseen liittyviä näkökohtia**

Tulosten laadun suhteen keskeisiä työvaiheita ovat ositus ja maastokoealojen poiminta. Kun osittavien tekijöiden määrä lisääntyy, kuten tapahtuu kun yhden satelliittiekuvien säteilyarvotunnusten lisäksi otetaan mukaan kontekstuaalisuutta kuvaavia tunnuksia, eriaikaisia satelliitti- ja muita kuvia, vanhaa maastotietoa ja karttatietoa esimerkiksi maastomallien muodossa, tulee ositteiden määrä helposti niin suureksi, että kaikille ositteille ei riitä tarpeeksi maastokoealoja. Edellä olevassa tilanteessa laskentaohjelmaa pitää muuttaa tehokkaammaksi. Ratkaisumalleja on useita. Menetelmä voidaan ajatella rakentaa esimerkiksi erilaisilla painotuksilla varustettuihin Euklidiisiin etäisyyksiin.

Ilmeisestikin ollaan menossa siihen suuntaan, että se mitä metsässä tapahtuu tulee kiinnostavammaksi suhteessa siihen mitä metsässä on. Tämä näkökohta korostaa toistuvasti mi-

tattavien pysyvien maastokoealojen merkitystä. Satelliittikuvien käyttö on voimakkaasti sidoksissa kelvollisen maastoaineiston hankintaan. Tuore valtakunnan metsien inventointiaineisto on osoittautunut käyttökelpoiseksi (Pou-tiainen 1988).

Metsänarvioimistieteen laitoksessa sovellettava menetelmä luo tasaväliseen, mielivaltaisen tiheästi paikannettavaan pisteistöön kohdistuvan tiedoston. Kun eri ajankohtien osalta käytetään samaa tai lähes samaa ensimmäisen vaiheen otosyksiköiden joukkoa, voidaan seurua harrastaa ja muutoksia tutkia mielivaltaiselta useamman otosyksikön sisältävältä alueelta. Tämä ratkaisee suurelta osalta kuviorajojen muuttumisesta aiheutuvan ongelman.

Tiheä ensimmäisen vaiheen pisteistö voi johtaa myös siihen, että rajat operatiivisen, keskipitkän ja pitkän tähtäyksen suunnittelun välillä käyvät matalammiksi. Tämä johtuu siitä, että tietojen käsittelykapasiteetin parantuessa tiedon ja laskennan määrä eivät aseta samalla tapaa rajoituksia kuin aikaisemmin.

Satelliittikuvien erotuskyky ei nykyisellään anna mahdollisuutta yksittäisten puiden ominaisuuksien arviointiin. Tämän johdosta tulee houkuttelevaksi ajatus digitoida suuri-kaavaisia ilmakuvia tai käyttää suoraan videokameralla saatavaa tietoa yhdessä satelliittikuvatiedon kanssa. SMI-kuvatyoasemalla tehtyjen kokeilujen perusteella voidaan päätellä, että suuria teknisiä vaikeuksia ajatuksen toteuttamiseen ei liity. Käynnissä oleva menetelmätutkimus pysyvien koelaojen puiden terveydentilan arvioinnista ja seurua väri-infrakuvien numeerisella käsittelyllä tuo aikanaan asiaan lisää tietoa.

#### **Tarve käytännön toimenpiteisiin**

Tekniikka ja sovellustutkimuksetkin ovat edenneet jo niin pitkälle, että satelliittikuvia voidaan ajatella käyttää hyväksi lähes kaikkeen metsäinventointeihin liittyvään erityisesti, jos alalle saadaan tarvittavaa yhteistoimintaa.



Satelliittikuvien hyödyntämiseen tähtäävä toiminta voidaan organisointimielessä jakaa kahteen osaan: 1) tutkimus- ja kehitystyön ja 2) käytännön toiminnan organisointiin.

Suomessa tutkimus- ja kehitystyö organisoitui 1960- ja 1970-vuosikymmenten vaihteessa Metsäntutkimuslaitokseen, sitten 1970-luvun puolivälistä alkaen VTT:hen, 1982 alkaen kuvaan tuli Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos ja vuosikymmenen puolivälin paikkeilla Joensuun yliopiston metsälaitokset. Lisäksi hyödyllistä tutkimusta tehdään TKK:n fotogrammetrian laitoksessa, vaikkakaan siellä metsäsovellutukset eivät ole näkyvästi mukana tavoitteiden asettelussa.

Tutkimuksen ja kehityksen vauhdittamisessa haluan korostaa yliopistojen asemaa. Metsänarvioinnin opetussisältöön Helsingin yliopistossa ja metsätalouden suunnitteluun Joensuun yliopistossa kuuluu kaukokartoitustekniikka. Sen ja muun alaan kuuluvan opetuksen pohjalta Metsäntutkimuslaitos ja käytännön organisaatiot saavat keskeisen osan ammattitaitoista työvoimaansa. Ellei alan koulutus toimi kunnolla, eivät muutkaan osat voi hyvin.

Rahoituskohteita alan vauhdittamiseksi haettaessa tulee varteenotettavaksi vaihtoehdoksi kaukokartoituksen professorin perustaminen Suomeen samaan malliin kuin mitä on tehty Uumajassa, Freiburgissa, Göttingenissa ja amerikkalaisissa yliopistoissa jo aikoja sitten. Lisäksi Helsingin yliopisto tarvitsee laitteistoa kaukokartoituksen opetukseen ja tutkimukseen. Samanlainen laitteistopula koskee myös Metsäntutkimuslaitosta.

Tutkimuksen ja opetuksen kehittämisessä yliopistot tarvitsevat yhteistyötä Metsäntutkimuslaitoksen ja myös käytännön kanssa. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksessa olemme olleet yhteistyössä erityisesti Enso-Gutzeitin ja aineistojen käytön osalta Metsäntutkimuslaitoksen kanssa. Yhteistyön mahdollisuuksia ei kuitenkaan ole läheskään täysimääräisesti hyödynnetty.

Satelliittikuvien metsätaloudellisen käytön valtakunnanlaajuisessa koordinoinnissa keskeiset organisaatiot ovat maanmittaushallitus ja Metsäntutkimuslaitos. Jälkimmäinen sen johdosta, että sen arvioinnin tutkimusosasto vastaa valtakunnan metsien inventointiaineiston keruusta ja tulojen laskennasta ja voi tarjota satelliittikuvien käytön vaatimaa maastotietoa. On nimittäin arvioitavissa, että suurin kustannuserä satelliittikuvien käytössä lankeaa kunnollisen maastoaineiston keruun kontolle.

Metsätalouden suunnittelu perustuu suuressa määrin kuvioittain kerättävään tietoon. Tällaisten suunnittelu-tehtävien hoitoon on olemassa omat organisaationsa sekä valtion, yksityisten että metsäteollisuuden osalta. Lisäksi vapaaseen yritystoimintaan löytyy halukkuutta. Satelliittikuvien hyväksikäytön organisointia metsätalouden suunnittelehtäviä varten tullaan varmaan käsittelemään lähitulevaisuudessa useilla tahoilla ja tasoilla.

### **Kirjallisuus**

- Peng, S. 1987. On the combination of multitemporal satellite and field data for forest inventories. *Acta Forestalia Fennica* 200:1-95.
- Poso, S., Paananen, R. & Similä, M. 1987. Forest inventory by compartments using satellite imagery. *Silva Fennica* 21(1):69-94.
- Poutiainen, J. 1988. Satelliittikuvaan ja valtakunnan metsien inventoinnin koealatietoihin perustuva metsäninventointimenetelmä. Pro gradu-tutkielman käsikirjoitus.
- Räsänen, T. Possibilities of using SPOT satellite image in inventory of forests of Amani. Pro gradu-tutkielman käsikirjoitus.

## SATELLIITTIKUVAT VALTAKUNNAN METSIEN INVENTOINNISSA

Pekka Kilkki

Satelliittikuvien käytöllä Suomen valtakunnan metsien inventoinnissa voi olla esimerkiksi seuraavia tavoitteita:

- saada tulokset nykyistä pienemmille osa-alueille
- pitää inventointitietoja ajan tasalla
- saada selville sellaisia tietoja, joiden mittaus maastossa on vaikeaa (esim. metsätuhot)
- parantaa inventoinnin hyöty-kustannussuhdetta.

Lisäksi on huomattava, että yhden tai muutaman tunnuksen arviointi satelliittikuvia käyttäen ei riitä, vaan satelliittikuvien käytön on oltava osa valtakunnan metsien inventoinnin kokonaisuudesta.

Kuvaan seuraavassa Joensuun yliopistossa kehitettyä ns. referenssikoealamenetelmää (Kilkki ja Päivinen 1987), jonka ensisijaisena tavoitteena on tulosten laskenta nykyistä pienemmille alueille. Menetelmä vastaa likimain Poson (1972) kehittämää ryhmitysmenetelmää. Ensimmäisen kerran sitä sovellettiin käytännössä Heinäveden kunnan alueen metsävarojen selvitykseen (Kilkki ym. 1988).

Referenssikoealamenetelmässä ovat seuraavat vaiheet:

1. Referenssialue rajataan siten, että se kattaa vähintään koko inventoitavan alueen ja että maastotietojen ja satelliittikuvan sävyarvojen riippuvuus pysyy alueella muuttumattomana. Toistaiseksi menetelmässä on käytetty vain yhden kuvan aluetta.
2. Jokaiselle referenssialueen maastokoealalle haetaan sen keskipisteen koordinaatteja vastaava pikseli.

3. Jokaiselle inventoitavan alueen pikselille lasketaan sävyarvoerotus kaikkiin niihin referenssialueen pikseleihin, joille on osunut maastokoeala.
4. Inventoitavan alueen pikseleille lasketaan tiedot etäisyysfunktion mukaan niitä lähimpinä sijaitsevien koealojen painotettuna keskiarvona.
5. Inventoitavan alueen tiedot lasketaan sen pikseleiden arvojen summana.

Käytännössä kohdat 4 ja 5 korvataan menettelyllä, jossa jokaiselle inventoitavan alueen pikselille tulevat painot summataan koealoittain. Tuloksena ovat täten inventoitavaa aluetta vastaavat pinta-alapainot kaikille referenssialueen maastokoealoille. Kunkin VMI-koealan ( $j$ ) edustama metsätalousmaan pinta-ala ( $A_j$ ) saadaan kaavasta

$$A_j = \frac{\sum_{i=1}^M w_{ij}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N w_{ij}} A ; j=1, \dots, N$$

jossa

$M$  = inventoitavan alueen pikseleiden lukumäärä

$N$  = VMI-koealojen lukumäärä

$A$  = inventoitavan alueen pinta-ala, ha

$w_{ij}$  = koealan  $j$  paino pikselille  $i$ .

Tulosten laskennassa ovat tämän jälkeen käytettävissä kaikki valtakunnan metsien inventoinnin tulostenlaskenta- ja suunnitteluohjelmistot.

Jotta referenssikoealamenetelmä olisi yleisesti käyttökelpoinen, tulisi koko maan kattavat maastokoealatiedot pitää

jatkuvasti ajan tasalla. Tämä edellyttää joko uuden koealaston mittausta parin kolmen vuoden välein tai vanhan koealaston päivittämistä. Jälkimmäinen vaihtoehto merkitsee sitä, että joko kaikki tai huomattava osa VMI-koealoista mitataan pysyvinä koealoina.

Nykyistä valtakunnan metsien inventointimenetelmää soveltaen meillä on ajan tasalla olevat maastotiedot vuosittain vain pienestä osasta maata. On mahdollista tihentää VMI8:ssa mitattujen pysyvien koealojen mittaussväliä, mutta näiden koealojen määrä on aivan liian pieni käytettäväksi satelliittikuvien referenssikoealoina.

Jos nyt jäädään odottamaan valtakunnan metsien yhdeksättä inventointia, merkitsee se sitä, että koko valtakunnan kattava, ajan tasalla pidetty maastokoealojen verkko on valmis vasta ensi vuosituonnilla. Tämä ei tunnu tarkoituksenmukaiselta, kun satelliittitekniikkaa voitaisiin hyödyntää vaikka heti.

Ongelma voidaan ratkaista siten, että kaikki VMI8:n koealat säilytetään pysyvinä koealoina. Näitä koealoja seurataan vuosittain tai muutaman vuoden välein. Maastokäynnein todetaan mahdollisesti poistuneet puut. Sen sijaan relaxkooppikoealaan kasvun kautta tulleet puut rekisteröidään ja puiden kasvu mitataan vain esimerkiksi 10 vuoden välein. Vuotuisen kasvun selvittämiseksi kairataan tietty määrä puita osalta koealoja.

Jotta koko maalle saataisiin kattava koealaverkko mahdollisimman nopeasti, voidaan nykyiseen inventointiin tehdä esimerkiksi seuraavat muutokset:

- Mitataan vain joka toinen lohko.
- Koepuumittauksia vähennetään: esimerkiksi kapenemisen ja kuoren mittauksesta sekä koepuiden molemmilta puolilta tehtävästä kairauksesta voidaan luopua. Puuttuvat mittaukset korvataan VMI8:n pysyvien koealojen ja VMI7:n koepuilla sekä INKA-koepuilla, myöhemmin myös VAPU-koepuilla.

Itse maastotyössä tuskin tarvitsee tehdä kovinkaan suuria muutoksia nykyiseen verrattuna. Koealojen paikallistamisen tarkkuutta pitää yrittää edelleen parantaa, vaikka oleellista parannusta tuskin saadaan ennen satelliittipaikannuksen käyttöönottoa. Puuston silmävaraista arviointia on tarkennettava erityisesti vähäpuustoisilla alueilla. Sen sijaan maastokoealan kokoa ei ole syytä kasvattaa. Koealan koon lisääminen heikentäisi olennaisesti maastotyön luotettavuutta. Toisaalta suurten koealojen ja maastokuvioiden arvioinnissa saadut korkeat korrelaatiot ovat näennäisiä ja kertovat ainoastaan sen, että keskiarvojen korrelaatiot ovat aina korkeampia kuin alkuperäisten havaintojen.

Yhtenä ongelmana satelliittikuvien käyttöönotossa on pilvisyyden aiheuttama kuvien saannin epätasaisuus ja epävarmuus. Saattaisi olla tarkoituksenmukaista kohdistaa maastotyöt vain niille alueille, joilta on saatavissa joko sen kesän tai edellisen kesän pilvettämiä kuvia.

### Kirjallisuus

- Kilkki, P., Saastamoinen, O., Muinonen, E. & Tokola, T. 1988. Heinäveden Puuntuotantokuntahankkeen perusselvitys. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 69 s.
- Kilkki, P. & Päivinen, R. 1987. Reference sample plots to combine field measurements and satellite data in forest inventory. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen julkaisuja 19:209-215.
- Poso, S. 1972. A method of combining photo and field samples in forest inventory. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 76(1):1-133.

**METSÄN KAUKOKARTOITUSTUTKIMUS VTT:SSA**

Tuomas Häme

**TIIVISTELMÄ**

VTT:n kaukokartoitustekniikan jaostossa on 16 henkeä ja tärkeimmät tutkimusalueet ovat metsätalous, lumi ja jää, tulkintamenetelmät sekä -laitteistot. Tutkimukset toteutetaan aikatauluihin ja budjetteihin sidottuina projekteina ja usein yhteistyönä muiden laitosten kanssa. Viimeaikaisia laajahkoja hankkeita ovat olleet Kauko-menetelmän kehittäminen Pohjois-Suomen metsäveroluokituksiin sekä kuvioittaisen arviointi- ja muutosten seurantamenetelmän kehittäminen. Vuonna 1988 on alettu kehittää kuvapohjaista metsäekosysteemin analysointijärjestelmää sekä kasvupaikkojen luokitusmenetelmää Etelä-Suomea varten. Kasvipeitteen spektristen ominaisuuksien ja visuaalisten kuvatuotteiden tutkimus on maassamme liian vähäistä.

VTT:n kaukokartoitustutkimus on keskittynyt instrumenttitekniikan laboratorion kaukokartoitustekniikan jaostoon, mutta kaukokartoitusta palvelevaa tutkimusta, erityisesti laitteiston kehittämistä, tehdään myös muissa laboratorioissa, kuten tietojenkäsittelytekniikan laboratoriossa, teletekniikan laboratoriossa sekä instrumenttitekniikan laboratorion muissa jaostoissa. Kaukokartoitusjaoston palveluksessa oli 16 henkeä 31.5.1988, joista 10 on akateemisen loppututkimuksen suorittaneita. Tutkijoiden koulutustausta on:

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Dipl. ins. (maanmittaus) | 5 |
| Tekn. lis. (maanmittaus) | 1 |
| Tekn. lis. (tekn. fys.)  | 1 |
| Dipl. ins. (geofysiikka) | 1 |
| VTT (tilastotiede)       | 1 |
| MML (metsänarv.)         | 1 |

Metsien kaukokartoitus on ollut tärkein yksittäinen sovellusala vuonna 1973 alkaneessa VTT:n kaukokartoitustutkimuksessa. Jaoston 15 vuotisen toiminnan aikana kaukokartoituksen parissa on työskennellyt keskimäärin 2,5 metsäalan koulutuksen saanutta vuosittain. Muut tärkeät tutkimusalat ovat lumen ja jään tulkinta, hydrologiset sovellukset, tulkinta-algoritmit sekä laitteiston kehittäminen.

Kuvankäsittelylaitteiston runkona on VAX 11/750 tietokone, joka on yhdistetty kolme kuvamuistia käsittävään Intel-Salora -kuvannäyttölaitteistoon. Kuvia voidaan lisäksi näyttää mustavalkoisina siirreltävässä Saloran monitoreissa. Kuvatulkinnan perusohjelmisto, DISIMP (Device Independent Software for Image Processing), on hankittu australialaisesta CSIRO-tutkimuskeskuksesta. Suurehko joukko ohjelmia on lisäksi ohjelmoitu itse DISIMP-ympäristöön.

VTT:n tutkimustoiminta pohjautuu projekteihin, jolloin hankkeilla on selkeät alkamis- ja päättymispäivät, oma budjetti ja organisaatio, joka kootaan jokaista hanketta varten tarkoituksenmukaisimmalla tavalla. Suurin osa tutkimuksista tehdään ulkopuolisille tilaajille. VTT:n omarahoitteiset hankkeet liittyvät useimmiten tutkimusohjelmiin, joita perustetaan nopeasti kehittyville tutkimusalueille. Paraikaa on esimerkiksi käynnissä avaruustekniikan tutkimusohjelma. Yksityisen sektorin rahoittamista tutkimuksista ja tuotekehityshankkeista peritään omakustannusarvoa vastaava hinta, mutta valtion rahoittamissa hankkeissa VTT osallistuu kustannuksiin. Hankkeet voivat olla julkisia tai luottamuksellisia.

Kaukokartoitusjaoston osaamisalue on laaja monipuolisen koulutustaustan vuoksi. Tiettyyn kaukokartoituksen sovellusalueeseen on erikoistunut aina muutama tutkija. Kaukokartoitusjaosto on hakeutunut aktiivisesti yhteistyöhön muiden laitosten kanssa, jotta VTT:ssä oleva kaukokartoituksen asiantuntemus ja yhteistyökumppaneiden erikoisalan asiantuntemus ja laajat aineistot on pystytty yhdistämään. VTT:n tiloissa muun muassa työskentelee Geologian tutki-



muskeskuksen nelihenkkinen kaukokartoitusryhmä. Kaukokartoitusjaostolla on kiinteä yhteistyö myös Merentutkimuslaitoksen, Vesientutkimuslaitoksen, maanmittaushallituksen ja Metsäntutkimuslaitoksen kanssa. Metsäntutkimuslaitoksen ja VTT:n kesken on vaihdettu aineistoja sekä toteutettu yhteisiä tutkimushankkeita. Erillisiä yhteishankkeita on ollut tai on parhaillaan Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen, Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan, Teknillisen korkeakoulun maanmittausosaston ja Turun yliopiston biologian laitoksen kanssa.

Suurin osa VTT:ssä tehdyistä metsäalan kaukokartoitustutkimuksista on lähtenyt liikkeelle VTT:n tutkijoiden aloitteesta ja tutkimusidealle on hankittu rahoitus perinteisistä tutkimusta rahoittavista tahoista sekä metsäalan operatiivisista organisaatioista. Metsäalan kaukokartoitustutkimus suuntautui alkuvaiheessa, 1970-luvun puolivälissä, puuston määrän ja muiden metsikkömuuttujien arviointiin muun muassa monivaiheisella otannalla sekä metsäkasvustojen spektristen ominaisuuksien selvittämiseen. Menetelmä avohakkuiden kartoittamiseksi Landsat MSS -kuvista kehitettiin 1980-luvun alussa.

Vuonna 1982 valmistui verohallituksen tilauksesta kehitetty Kaukomenetelmä Pohjois-Suomen metsäveroluokituksiin. Menetelmää on sovellettu jo usean kunnan alueella. Taimikoiden vesottumisen tulkintaa Landsat MSS -kuvista tutkittiin 1980-luvun alkuvuosina. Maanmittaushallitus on nyt ryhtynyt tarjoamaan vesakkotulkintoja Landsat TM- ja Spot-kuvista muksullisina palveluina.

Maaliskuussa 1988 päättyi nelivuotinen tutkimushanke, jossa kehitettiin Landsat TM- ja Spot-kuviin perustuva menetelmä metsän kuvioittaiseen arviointiin ja muutosten seurantaan. Menetelmässä lasketaan omat tilastolliset mallinsa kullekin keskeiselle metsikkömuuttujalle ja erikseen kangasmaille sekä korpi- ja rämesoille. Mallit perustuvat valtakunnan metsien inventoinnin koaloja tai kokonaisia metsikköjä vastaaviin säteilyarvoihin. Menetelmällä pystytään esimer-

kiksi laskemaan valtakunnan metsien inventoinnin tulokset pienalueille ja karttamuodossa. Kuvioittaisessa arvioinnissa malleja sovelletaan kokonaisiin kuvioihin, jotka on saatu digitaalisen kuvan segmentointiohjelmalla automaattisesti tai digitoimalla, esimerkiksi metsätaluskartoista. Muutosten tulkinnessa lasketaan tilastollinen luokitusmalli yhdistämällä kahden ajankohdan satelliittikuvat. Tulkintatulokset kyetään siirtämään digitaaliseen karttajärjestelmään ja karttajärjestelmän tietoja voidaan siirtää kuvamuotoon.

Vuonna 1988 alkoi kaksi uutta laajahkoa hanketta: Kuvapohjainen metsäekosysteemin analysointijärjestelmä sekä Landsat TM -kuviin perustuva kasvupaikkojen arviointimenetelmä Etelä-Suomen metsäveroluokitusta varten. Metsäekosysteemin analysointijärjestelmässä perustetaan kuvamuotoinen tietokanta, johon liitetään mahdollisimman kattavasti metsäekosysteemiä kuvaavat muuttujat. Näitä muuttujia ovat muun muassa satelliittikeilainkuvat ja niiden tulkintatulokset, ilmastotiedot, maa- ja kallioperätiedot, topografiatiedot ja metsistä mitatut muuttujat. Kannan kuvamuotoisuus mahdollistaa suuren muuttujajoukon analysoinnin verraten yksinkertaisin menetelmin. Kyseessä ei siis ole pelkkä kuvausjärjestelmä, vaan kannan analysoinnilla tavoitellaan uutta tietoa ekosysteemistä. Kehitettävä järjestelmä kytketään myös vektoripohjaiseen kantaan, todennäköisesti Fingis-karttajärjestelmään. Hanke toteutetaan VTT:n, Geologian tutkimuskeskuksen, Metsäntutkimuslaitoksen sekä maanmittaushallituksen yhteistyönä. Järjestelmä on tarkoitus kehittää hierarkiseksi, jossa karkein taso on NOAA-satelliittikuvia vastaava taso ja hienoin taso Spot- ja Landsat TM -kuvia vastaava taso. Hienoimmalla tasolla järjestelmä soveltune metsätalousyksikön karttajärjestelmäksi.

Kasvupaikkojen luokitusmenetelmässä kehitetään tulkintamenetelmiä sekä käytännön järjestelmää. Tulkinnan apuna käytetään digitaalista karttatietoa.

Metsäalan kaukokartoitustutkimus Suomessa on ehkä liikaakin keskittynyt yhteen alueeseen: puuston runkotilavuuden ja siihen liittyvien muuttujien estimointiin. Keskittyminen on kyllä ymmärrettävää, koska kaukokartoitusta ovat harjoittaneet metsänarvioimistieteilijät, joille inventointi on ominta aluetta. Metsätuhojen aikana entisestäänkin tärkeämmäksi tullut kasvipeitteen spektristen ominaisuuksien tutkiminen on kuitenkin jäänyt kohtuuttoman vähälle huomiolle, satunnaisten hankkeiden varaan. Toivoisi, että alaa alettaisiin systemaattisesti tutkia organisaatioissa, joiden rahoitus ei riipu kiinteästi saavutetuista käytännön tuloksista. Mittauslaitteiden rakentamiseen löytyy asiantuntemusta omasta maastamme.

Toinen, miltei harrastuksen tasolla oleva ala on visuaalisten kuvien valmistaminen digitaalisesta aineistosta kasvipeitteen tulkintaa varten. Keilain- ja tutka-aineistosta tehdyillä visuaalisilla kuvilla on suuri merkitys väistämättömästi laajenevissa kehitysmaiden kaukokartoitussovelluksissa.

## TUTKIMUKSEN RAHOITUS

Seppo Havu

### Lähtökohdat

Kaukokartoitustutkimuksen rahoitusta on virallisluontoisesti selvitelty kaukokartoitustoimikunnassa, jonka mientö valmistui 30.4.1986, ja avaruusasiain neuvottelukunnassa. Neuvottelukunta on laatinut kansallisen avaruustutkimuksen ja -tekniikan kehittämisohjelman "Suomi ja avaruus", joka luovutettiin liikenneministeriölle 5.6.1987. Eri tutkimuslaitokset lienevät pohtineet asiaa omalta kohdaltaan. Kysymyksenä kaukokartoitustutkimuksen rahoittaminen on kuitenkin varsin uusi.

Kaukokartoitustoimikunta katsoi, että kaukokartoituksen kehittäminen kuuluu osana yleiseen teknologian kehittämiseen ja tästä syystä kaukokartoituksen tutkimukseen ja kehittämiseen olisi varattava lisää määrärahoja. Avaruusasiain neuvottelukunta on laatimassaan avaruusohjelmassa katsonut Suomen avaruustoiminnan erääksi painopistealueeksi kaukokartoituksen.

Metsätaloutta palveleva kaukokartoitustutkimus on luonteeltaan kaukokartoituksen soveltamiseen liittyvää tutkimusta, ennen muuta kaukokartoitusaineiston hyväksikäytön kehittämistä. Kaukokartoitusta palvelevaa tutkimusta on luonnollisesti instrumenttien ja menetelmien kehittäminen. Metsätalouden piirissä ei kuitenkaan ainakaan sanottavasti panosteta laitteiden ja menetelmien kehittämiseen, joten en käsittele sitä lähemmin.

Yleisenä lähtökohtana voitaneen siis pitää sitä, että kaukokartoitustutkimuksen rahoittamista pidetään tärkeänä. Tämä merkitsee sitä, että valtion tarkoituksena on osoittaa

määrärahoja kaukokartoitukseen ja nykytilanteessa nimenomaan kaukokartoituksen tutkimukseen. Ovatko määrärahat riittäviä on arvostuskysymys. Jonkinlaista kasvua on kuitenkin odotettavissa.

### Rahoituslähteet

Koko avaruusalaa silmällä pitäen tärkeimmät tutkimuksen rahoituslähteet ovat TEKES ja Suomen Akatemia. Metsätaloutta palvelevan kaukokartoitustutkimuksen rahoittamiseen on kuitenkin osallistunut myös maa- ja metsätalousministeriö. Varoja on ministeriö voinut myöntää viime vuosina kahdelta eri momentilta (metsätaloudelliset yhteistutkimukset 30.99.28 ja eräät luonnonvarojen kestäväään käyttöön liittyvät tutkimukset 30.99.20). Vuonna 1988 on momentin 30.99.20 määrärahasta 700 000 mk nimenomaisesti osoitettu kaukokartoitustutkimuksiin. Momentin 30.99.28 määrärahasta kaukokartoitustutkimuksiin varatut määrät ovat vaihdelleet. Nimenomaista päätöstä kaukokartoitusmäärärahoille kuuluvasta osuudesta ei ole tehty.

Käytettävissäni ei ole ollut selvitystä siitä, missä määrin TEKES tai Suomen Akatemia ovat rahoittaneet kaukokartoitustutkimuksia. Kaukokartoitustutkimusta ovat rahoittaneet myös korkeakoulut ja tutkimuslaitokset omilla toiminnallisilla määrärahoillaan. Näiden määrärahojen suuruutta ei käytännössä voitane yksityiskohtaisesti selvittääkään.

On todennäköistä, että vastaisuudessakin kaukokartoitustutkimusta rahoitetaan jokseenkin saman järjestelmän mukaisesti. Muutokset voivat tapahtua lähinnä siihen suuntaan, että korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten oman rahoituksen määrää lisätään. Maa- ja metsätalousministeriön määrärahaa on niin ikään tarkoitus kasvattaa. TEKESin ja Suomen Akatemian rahoituksesta tulevat entistä voimakkaammin kilpailemaan muut avaruusalan hankkeet ja nimenomaan ESA-yhteistyöhön liittyvät projektit. Tämän seurauksena saattaa käydä niin, että kaukokartoituksen sovellutuksia koskevan tutkimuksen rahoitus siirtyy hyödyntäjien makset-

tavaksi. Tällaista kehityksen suuntaa on pidettävä johdonmukaisena, onhan kaukokartoitus itseasiassa vain apuväline, josta aiheutuvat kustannukset kuuluvat sen käyttäjälle.

### **Projektitutkimuksen rahoitus**

Projektitutkimusten rahoituslähteitä olisivat siis vastaisuudessaakin TEKES, Suomen Akatemia ja maa- ja metsätalousministeriö. Yksittäistapauksissa rahoitusta voi saada muualtakin kuin valtion viranomaisilta. Olettamukseni kuitenkin on, pääasiallinen projektitutkimuksen rahoitus toteutetaan valtion varoilla. Lisäksi korkeakoulut ja tutkimuslaitokset joutuvat käyttämään varojaan myös kaukokartoituksen tutkimukseen.

Suomen Akatemian ja TEKESin myöntämään rahoitukseen liittyvä menettely lienee vakiintunut. Kummankin viranomaisen keskeinen tehtävä on tutkimustoiminnan rahoittaminen ja tässä suhteessa kaukokartoitustutkimukset ovat ilmeisesti vain pieni osa muusta rahoitettavasta toiminnasta.

Maa- ja metsätalousministeriön määrärahasta on kaukokartoitustutkimuksia rahoitettu vuodesta 1977 lukien. Metsätaloudellisia yhteistutkimuksia varten osoitetuista varoista on määrärahoja tähän mennessä myönnetty noin 1 000 000 mk ja varsinaisista kaukokartoitustutkimusvaroista vuosina 1987 ja 1988 noin 1 100 000 mk. Metsätaloutta palvelemaan kaukokartoitustutkimukseen on kaikkiaan myönnetty vajeat 1 200 000 mk vuosina 1977 - 1988.

Erilaisten kaukokartoitustutkimusten rahoitus pyritään ensisijaisesti toteuttamaan varsinaisen kaukokartoituksen tutkimusvaroilla. Näitä varoja pyritään lisäämään nykyisestäään. Avaruusasiain neuvottelukunnan vuonna 1987 tekemän kannanoton mukaan maa- ja metsätalousministeriöllä tulisi olla tutkimuksia varten 2 000 000 mk vuosittain. On kuitenkin selvää, että metsätaloudellisiin yhteistutkimuksiin osoitettuja varoja tarvittaessa voidaan vastaisuudessaakin käyttää kaukokartoitustutkimusten rahoittamiseen.

Maa- ja metsätalousministeriön kaukokartoitustutkimusvaroja on käytetty kaukokartoitusmenetelmän kehittämistä palveleviin tutkimuksiin. Pyrkimyksenä on kehittää kaukokartoituksesta operatiiviseen käyttöön soveltuva menetelmä. Tarkoituksena on lisäksi, että varoilla edistetään nimenomaan ministeriön toimialaa palvelevia tutkimuksia. Käytännössä pääpaino on ollut kartoitusta ja metsätaloutta palvelevilla tutkimuksilla.

Menettelytavat tutkimusvarojen jakamisessa ovat olleet hyvin vapaamuotoiset. Erityistä haettavaksi julistamista ei ole ollut, mutta määräraahakemuksia tuli viimeksi kaksinkertainen määrä käytettävissä oleviin varoihin verrattuna.

Kaukokartoitustutkimusten rahoituksessa on vaarana päällekkäisen työn tekeminen. Tämän estämiseksi on asetettu kaukokartoitustutkimusten seurantaryhmä, jonka tulee pyrkiä edistämään kaukokartoitustutkimuksiin osallistuvien laitosten ja virastojen välistä yhteistyötä kaukokartoitustutkimuksissa ja tarpeen mukaan tehdä esityksiä yhteistyön kehittämisestä sekä kaukokartoitustutkimusten suuntaamisesta.

Tutkimusten rahoituksessa ongelman muodostavat useita vuosia koskevat hankkeet. Vaikka tutkimus joudutaan suunnittelemaan usean vuoden mittaiseksi, rahoituspäätösten saaminen koko tutkimusajaksi voi olla ongelmallista, varsinkin kun valtion budjetti laaditaan vuodeksi kerrallaan. Toisaalta tiettyihin tarkoituksiin vakiintuneet määrärahat mahdollistavat jatkuvan toiminnan. Tässä tarkoituksessa myös maa- ja metsätalousministeriö on pyrkinyt vakiinnuttamaan käytettävissään olevia määrärahoja.

Kaiken kaikkiaan kaukokartoitustutkimusten rahoittamisessa on samoja ongelmia kuin tutkimusten rahoittamisessa yleensä. Rahoituslähteitä voi olla useita ja tarvittavan rahoituksen kerääminen voi vaatia suurelkin työpanoksen. Toisaalta kaukokartoitustutkimuksen tärkeys on tunnustettu ja rahoituksen saamiseen tämän vuoksi voitaneen suhtautua optimistisesti.

## HAVAINNOLAITTEIDEN JA AINEISTON KEHITYS

Risto Kuittinen

### Johdanto

Kaukokartoitustekokuiden kehittäminen aloitettiin 1960-luvulla, kun ensimmäisten miehitettyjen avaruuslentojen avulla saatu kuva-aineisto oli todettu käyttökelpoiseksi. Aluksi työtä tehtiin meteorologisten säätekokuitten kehittämiseksi ja nämä saatiinkin operatiiviseen käyttöön 1970-luvun alussa. Tällä vuosikymmenellä aloitettiin ns. luonnonvaratekokuitten kehittäminen lähinnä maan pinnan havainnoimiseksi. Tärkeitä tutkimuskohteita olivat kasvilisuus, maa- ja kallioperä sekä kartoitustehtävät. Luonnonvaratekokuut tulivat operatiiviseen käyttöön 1980-luvulla. Parhaillaan ollaan suunnittelemassa erityisesti merialueiden havainnointiin soveltuvia tekokuita. Näiden oletetaan olevan käytettävissä vähitellen 1990-luvun alkupuolelta alkaen.

Ensimmäiset avaruudesta otetut kuvat olivat tavallisia valokuvia ja myöhemmin käytettiin yleisesti erilaisia videokameroita. Kummassakin tapauksessa oli saatavilla analogiakuva, jolle voitiin tehdä vain rajoitetusti tulkittavuutta lisääviä kuvamuunnoksia. Digitaaliset kuvat yleistyivät 1970-luvun alussa, ja nykyään pyritään kaukokartoituskuvat saamaan aina digitaalisessa muodossa.

Satelliittien yleistymisen myötä on satelliittimaa-asemien määrä kasvanut voimakkaasti. Tällä hetkellä maailmassa on yli 2 500 sääsatelliittien kuvien vastaanottoon soveltuvaa maa-asemaa ja n. 20 luonnonvaratekokuiden kuvien vastaanottoon sopivaa asemaa. Reaaliaikainen satelliittikuvaus kattaa koko maapallon (säätekokuut) ja noin 70 % maa-alasta on myös reaaliaikaisen luonnonvaratekokuilla tehtävän kuvauksen piirissä. Pilvisyys alentaa kuitenkin merkittävästi käyttökelpoisten kuvien määrää.



## Nykyinen kaukokartoitusaineisto

Tekokuiden lähettäminen on kallista. Tämän vuoksi pyritään yhteen tekokuuhun asentamaan mahdollisimman monia havaintolaitteita; luotaimia ja kuvauslaitteita. Satelliitin ja siinä olevien ilmaisimien käyttökelpoisuuden määräävät pääasiassa seuraavat seikat:

- Alueellinen eli spatiaalinen erotuskyky, jolla tarkoitetaan pienintä kohteen yksityiskohtaa, joka kuvalta voidaan havaita. Yleensä kuvauslaitteen avauskulmaa edustava maaston ala katsotaan pienimmäksi erotettavaksi kohteeksi, mutta kohteen ja sen ympäristön kontrastista riippuen erotuskyky voi olla suurempi tai pienempi kuin avauskulmaa edustava maaston ala.
- Spektrinen erotuskyky, jolla tarkoitetaan sitä, kuinka monella ja kuinka leveällä sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalueella kuvia otetaan.
- Kuvauksen toistuvuus eli se, kuinka usein samasta kohdasta saadaan kuva. Tähän vaikuttaa ennen kaikkea satelliitin ottaman kuvan leveys.

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa on esitetty maamme nyt kuvaavien tekokuiden edellä luetellut ominaisuudet. Mikäli tekokuita on useampia samanlaisia, esiintyy taulukossa yhdistettynä kuvauksen toistuvuus. Maamme pohjoinen sijainti on otettu huomioon toistuvuudessa, joka on noin kaksinkertainen virallisesti ilmoitettuun. Pelkästään meteorologisiin tarkoituksiin käytettävä Meteosat-tekokuu on jätetty pois taulukosta.

Digitaaliset kuvat on esitetty kuudella, kahdeksalla tai kymmenellä bitillä. Digitaalisista kuvista voidaan valmistaa eri tarkoituksiin soveltuvia analogiakuvia. Neuvostoliitosta on saatavissa vain analogisia kuvia.

| Tekokuu                | Erotuskyky       |  | Kuvan<br>leveys | Kuvauksen<br>toistuvuus<br>keskimäärin |
|------------------------|------------------|--|-----------------|--|
|                        | Alueel-<br>linen | Spektri-<br>nen<br>( $\mu\text{m}/\text{kanavien lkm}$ ) |                 |  |
| Landsat 5              | 30 m             | 0,45 - 12,5/7  | 90 km           | 2/16 d                                 |
|                        | 80 m             | 0,5 - 1,1/4  | 185 km          | 2/16 d                                 |
| SPOT 1                 | 10 m             | 0,5 - 0,7/1  | 60 km           | 2/12 d                                 |
|                        | 20 m             | 0,61 - 0,89/3  | 60 km           | 2/12 d                                 |
| MOS 1<br>900 ja 2700 m | 50 m             | 0,5 - 1,1/4  | 100 km          | 2/17 d                                 |
|                        | 32 km            | 0,5 - 12,5/4   | 1500 km         | 1/1 d                                  |
|                        | 23 km            | 23 GHz   | 320 km          | 2/17 d                                 |
|                        | 23 km            | 32 GHz   | 320 km          | 2/17 d                                 |
| NOAA                   | 1,1 km           | 0,5 - 12,5/5   | 2600 km         | 4/1 d                                  |
| Meteor                 | 1-8 km           | 0,5 - 12/2   | 2600 km         | 4/1 d*                                 |
| KFA ym.                | 5-50 m           | väri ja väärävärικuvat tilauksesta*                      |                 |  |

\* analogiakuva, joko alkuperäisestä filmistä tehtynä tai maa-asemalle välitettynä.

Satunnaisesti on saatavissa muidenkin satelliittien ottamia kuvia, mutta niiden varaan ei voida perustaa kovinkaan laajalti menetelmäkehitystä, koska mainitut satelliitit eivät ole sellaisenaan tarjonneet jatkuvaa aineiston saantia. Digitaalinen kuva-aineisto tarjoaa valokuvia paremmat mahdollisuudet muokata kuvat ja tulkita niitä. Kuitenkin suurimittakaavaisilla analogiakuvilla tulee olemaan merkittävää käyttöä, koska ilmakuvi-analysoinnissa käytettävät laitteet soveltuvat niiden tulkintaan. Toistaiseksi ainoastaan neuvostoliittolaiset satelliittikuvat ja SPOT-tekokuun ottamat kuvat tarjoavat mahdollisuuden kohteen kolmiulotteiseen tarkasteluun.

### Tulevaisuuden näkymiä

Tällä hetkellä suunnitellaan tekokuita, joita tullaan käyttämään 1990-luvulla. Ominaisia näille kaukokartoitus-tekokuille ovat seuraavat ilmaisimet:

1. Suuren alueellisen erotuskyvyn (10-50 m) keilaimet, jolloin toisaalta on käytettävissä vain 1-5 kanavaa. Käyttöalue on lähinnä maalla.

2. Kohtuullisen alueellisen erotuskyvyn keilaimet (0,5 - 2,5 km), jolloin kanavia on keskimäärin 5-15 kappaletta. Sovellutuksesta riippuen voidaan mahdollisesti valita, mitä kanavia käytetään kuvauksessa. Käyttöalueet ovat maalla ja merellä.
3. Mikroaaltoalueen radiometrit, joissa on erilaisia taa-juuksia soveltuvat lähinnä lumen, jään ja maankosteuden havainnointiin.
4. Erilaiset tutkat, jotka soveltuvat hyvin tuulen voimakkuuden, aallokon ja jään havainnointiin merialueilla.

Näiden ryhmien lisäksi otetaan kokeilukäyttöön kuvaavat spektrometrit, joilla voidaan analysoida noin 20 nm kais-  
toissa kohteen heijastamaa säteilyä.

Suunnitelluista tekokuista voidaan esittää seuraava luet-  
telo:

| Tekokuu   | Laukaisu | Kuvauslaite                               |
|-----------|----------|---|
| Landsat 6 | 1991     | Keilaimia, max. erotuskyky 15 m           |
| SPOT 2    | 1989     | Keilaimia, max. erotuskyky 10 m           |
| MOS 2     |          | Keilaimia, max. erotuskyky 50 m           |
| ERS-1     | 1990     | Erilaisia tutkia, max. erotuskyky 30 m    |
| JERS-1    | 1991     | Keilain ja tutka, max. erotuskyky 25 m    |
| Radarsat  | 1994     | Tutka, max. erotuskyky 8 m                |
| NOAA      | jatkuva  | Keilain ja luotaimia, max. er.kyky 1,1 km |
| Meteor    | jatkuva  | Keilain, max. erotuskyky 1 km             |

Kaupallisina hankkeina tulevat jatkamaan Landsat, SPOT ja MOS -sarjojen tekokuut. Euroopan avaruusjärjestö toimittaa avaruuteen kaksi ERS-tekokuuta, joiden päähavaintolaite on tutka. Kanada lähettäneen RADARSAT-tekokuun ja Japani lähettäneen muutamia tutkalla varustettuja tekokuuta (JERS). Säätekokuut jatkavat operatiivisina toimintaansa, kunnes ne 1990-luvun puolivälissä korvattaneen USA:n, Euroopan avaruusjärjestön ja Japanin yhteisesti kehittämällä polaari-rataisten tekokuitten järjestelmällä.

## NEUVOSTOLIITTO LAISET SATELLIITTIKUVAT

Heikki Luukkonen

### Yleistä

FM-Projects Ltd Oy, jonka omistavat Finnmap Oy ja Finnmart Oy, markkinoi, välittää ja myös itse valmistaa satelliittikuvatuotteita neuvostoliittolaisen ulkomaankauppayhtiön V/O Sojuzkartan satelliittikuva-aineistosta. Markkina-alueeksi on sovittu Länsi-Euroopan maat. Markkinoitavat tuotteet ovat toistaiseksi kaikki perinteisillä valokuvausmenetelmillä otetuista filmeistä tehtyjä kuvatuotteita. Myytävänä on sekä aiemmin otettuja kuvia että uusia kuvauksia edellyttäviä kuvia. Toimitusajat arkistokuville ovat noin kaksi viikkoa ja uusille kuvauksille 4-6 kk.

### Tuotteet, KFA-1000

Paras erotuskyky saavutetaan kameralla KFA-1000. Se on perinteinen kamera, jonka tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- kuvakoko 30 cm x 30 cm
- polttoväli noin 1 m
- käytettävät filmit: pankromaattinen, spektrozonal.

Kuvaukset suoritetaan stereopeitolla noin 200-300 km:n korkeudelta. Näin ollen kuvausmittakaava on noin 1:250 000. Erotuskyky on parhaimmillaan noin 5 m.

Myytävänä on

- originaalifilmin kopioita diapositiivina tai negatiivina
- pintakopioita paperilla
- kuvasuurennoksia paperilla
- kuva digitalisoituna.

**KATE-200**

Kate 200 on kolmikanavainen kamera, jonka tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- kanavat 1: 510 - 600 nm  
2: 600 - 700 nm  
3: 700 - 850 nm
- kuvakoko 18 cm x 18 cm
- polttoväli noin 0,2 m
- käytettävät filmit: mustavalkofilmejä.

Kuvaukset suoritetaan noin 200-300 km:n korkeudelta stereopeitolla. Negatiivimittakaava on noin 1:1 000 000. Erotuskyvyn on ilmoitettu olevan noin 20 m parhaimmillaan.

Myytäväenä on

- originaalifilmin kopioita filmillä ja paperilla
- kuvasuurenoksia
- kuvamosaiikkeja
- digitalisoituja kuvia.

Kuvat voidaan valmistaa joko mustavalkoisina tai synteettisinä värikuvina.

**KATE-140**

Kate-140 on kamera, jonka

- kuvakoko on 18 cm x 18 cm
- polttoväli noin 0,14 m
- käytettävät filmit mustavalkofilmejä.

Kuvaukset suoritetaan stereopeitolla noin 200-300 km:n ratakorkeudelta. Negatiivimittakaava on noin 1:1 500 000 ja erotuskyky parhaimmillaan noin 50 m.

Myytävät tuotteet ovat perinteisiä mustavalkoisia kuvatuotteita. Lisäksi on saatavissa digitalisoituja kuvia.

**MKF-6M**

MKF-6M on kuusikanavainen kamera, jonka filmeistä voidaan valmistaa mustavalkoisia ja synteettisiä kuvatuotteita. Lisäksi kuvat voidaan digitalisoida.

Kameran tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- kanavat 1: 400 - 500 nm
  - 2: 520 - 560 nm
  - 3: 580 - 620 nm
  - 4: 640 - 680 nm
  - 5: 700 - 740 nm
  - 6: 780 - 860 nm
- kuvakoko 5,6 cm x 8,1 cm
- polttoväli noin 0,13 m
- käytettävä filmi mustavalkoista.

Käytetyn satelliittin ratakorkeus on noin 200-300 km. Negatiivimittakaava on noin 1:2 500 000 ja paras erotuskyky noin 20 m. Kuvaukset suoritetaan stereopeitolla. Kuvatuotteet ovat aivan vastaavat kuin KATE-200:lla.

**Sovellutuksia**

Neuvostoliittolaiset ovat käyttäneet edellä mainittuja tuotteita

- teemakarttojen valmistamiseen
  - \* geologisiin kartoitustehtäviin
  - \* vesivarojen kartoitustehtäviin
  - \* viljasatojen kartoitustehtäviin
  - \* metsien inventointiin ja kartoituksiin, jne.
- topografisten karttojen valmistukseen
  - \* 1:200 000
  - \* 1:50 000 - 1:100 000 (KFA-1000)

## **PERINTEINEN JA UUSI KAUKOKARTOITUSTEKNIikka METSÄHALLINNON PALVELUKSESSA**

Asko Saatsi

### **Johdanto**

Kaikki metsätalouden suunnittelu tähtää toteutukseen ja sitä kautta tuloksiin. Toimiva ja ajan tasalla oleva suunnittelujärjestelmä on keino, jolla visiot muutetaan markoiksi. Tärkeä osa metsähallituksen suunnittelujärjestelmää on ilmakuvatekniikan mittava hyödyntäminen. Suunnittelujärjestelmän rationalisoinnissa puolestaan uusi tekniikka näyttää tarjoavan toteuttamiskelpoisiakin mahdollisuuksia. Jatkuvan muutoksen ja siihen mukautumisen takia - tai ehkä juuri sen ansiosta, suunnittelua on alettu yhä enemmän ymmärtää itseäänkorjaavana prosessina, jolle mikään uusi ei saa olla vierasta.

### **Perinteisen ilmakuvatekniikan ongelmia**

Perinteisessä ilmakuvatekniikassa on vielä paljon tutkittavaa. Ensiksikin metsätalouden tulkintatulosta voitaneet vielä entisestään parantaa. Näin voidaan vähentää maastotyöstä johtuvaa subjektiivisuutta. Toiseksi käytännön tiukat työtavoitteet ja -aikataulut pakottavat työskentelemään toisinaan huonolla materiaalilla. Kuvien perusteellinen esitulkinta ennen maastotöitä vaatineet yhä suurta huomiota. Kenties työtavat ovat alkaneet taantua, koska innovaatiot kohdentuvat entistä enemmän satelliittitekniikan suuntaan.

## Ilmakuvien käytön kehittämissuuntia

Ilmakuvatekniikka kannattanee suunnata entistä enemmän suunnittelusta kohti toteutuksen hahmottelua. Näin ilmakuvat nivoutuisivat entistä paremmin kokonaissuunnitteluun. Metsähallituksen sijoitussuunnitelma on konkreettinen esimerkki tällaisesta sovelluksesta. Muita mahdollisia sovelluksia on moninaiskäyttölliset tehtävät, esimerkiksi ulkoilualueiden ja -reittien suunnittelu.

Toinen merkittävä kehittämissuunta on ilmakuvakartoitukseen palaaminen. Tällöin numeerinen ilmakuva olisi koneen muistissa ja samalla kiinteä osa metsätalouuskarttaa. Menetelmälle olisi lisäksi tyyppillistä ilmakuvien käyttäminen muutosten havaisemiseen ja paikallistamiseen. Näin ilmakuvienkin osalta päästäisiin samaan mihin satelliittikuvilla on pyritty.

## Tutkimus vs soveltaminen

Ilmakuviemme hyvä laatu on paljolti kiitosta kuvien käyttäjien. Erityisesti kuvien tulkittavuuden ja laadun vaatimukset ovat olleet kovat. Sitä vastoin menetelmien kehittäminen on pysähtynyt. Tutkimukselta odotetaankin apua tässä tilanteessa. Kuvien käyttäjillä on hallussaan suuret ilmakuvavarastot, jotka pölyttyvät sen jälkeen, kun niitä on kerran ennakkokuvioinnissa käytetty. Näiden jo hankittujen kuvien käyttöä on mitä ilmeisimmin tehostettava. Olisi vain löydettävä uusia menetelmiä ja suunnittelutekniikoita tilanteen korjaamiseksi.

Tutkimukselle voisi asettaa haasteeksi myös perinteisen metsikkökuvio-käsitteen kriittisen arvostelun tai jopa hylkäämisen. Perinteissä pitäytyminen saattaa olennaisesti vaikeuttaa uusien tekniikoiden täysimääräistä hyödyntämistä. Esimerkiksi numeeristen metsäkarttojen karttojen valmistus on käsityön jäljittelemistä koneella. Vallitseva käytäntö ei liene järkevää nykyisen tekniikan aikana jo



siitäkin syystä, että kartanvalmistusohjelmistojen elinkaari on optimistisestikin arvioituna vain 5 vuotta. Lisäksi uusia menetelmiä käytettäessä tavoitetilä on tarkastettava riittävän usein. Näin ei kuitenkaan ole käynyt, vaan eletään onnellisina teknologiahuumassa; mitä hienommat koneet sitä vähemmän intelligenssiä.

#### **Ilmakuvatekniikan tulevaisuuden näkymiä**

Ilmakuvauksen kehitys matalakuvausten suuntaan on kulke-  
massa tiensä päähän. Sitä vastoin korkeakuvausten suunta  
näyttää tarjoavan mielenkiintoisia mahdollisuuksia: täl-  
löin päästäisiin satelliittikuvia huomattavasti pienempiin  
tietomääriin todellista hyötyaluehehtaaria kohti. Samalla  
voitaisiin asettaa kyseenalaiseksi kokonaan erillisen  
metsätalouuskartan valmistaminen tai ainakin sitä voitaisiin  
olennaisesti nopeuttaa ja yksinkertaistaa.

Ilmakuvatulkinnan uusina sovellusaloina on syytä mainita  
metsätalouden erikoiskartoitustarpeet ja erityisesti niistä  
tuhoinventoinnit. Keskeisin menetelmän tarjoama etu on no-  
pea paikallistaminen. Muualla maailmassa ilmakuvatekniikka  
onkin kehittynyt tähän suuntaan. Metsähallituskin on jo  
tiedostanut tilanteen. Valitettavasti vain käytännön toimet  
puuttuvat toistaiseksi.

#### **Satelliittikuvat: missä ollaan?**

Paraikaa on metsähallituksessa käynnissä mittava metsäta-  
louden järjestelyn uusiminen ja nykyaikaistaminen. Sen  
myötä suunnittelujärjestelmästä on kasvamassa yhä tärkeämpi  
johtamisen väline, jolla muutospaineita hallitaan. Jot-  
ajattelu saa jalansijaa. Tiedon arvolla on taloudellinen  
aspekti. Omaisuuden on tuotettava. Maailma muuttuu. Tak-  
saattorin on muututtava.

Muutospaineet aistitaan kentällä ensimmäisinä: satelliittitutkimus on kyllä tuonut lupaavia irrallisia tuloksia, jotka ovat kuitenkin niveltyneet huonosti käytännön metsätalouden palvelukseen. Laboratorioiden teoria ei ole kohdannut käytännön aspektia rahoituksesta huolimatta. Toisaalta satelliittiaineiston myyjät eivät ole oivaltaneet kokonaisvaltaisen palvelun ajatusta. Avaimet käteen -asiakaita saattaisi jo nykyään löytyä Suomestakin. Lisäksi soveltamispotentiaalin ymmärtämyksen kauppaaminen saattaisi tuottaa toivottua tulosta.

### Avautuneita näköaloja

Satelliittitutkimus on avannut huikeita näköaloja. Liekki on kuitenkin säilynyt elossa pelkästään edistyksellisten tutkijoiden ansiosta. Pahin käytännön este visioiden realisoimiseksi on pystyvien henkilöiden puute. Henkilöitymättömyydestä on tullut tässä tapauksessa käytännön metsätalouden ongelma. Valmiin odottaminen on juuri nyt selkeä virhe; vain tekemällä oppii.

Tutkimus on edennyt aivan oikein perusteista (metsikkötunusten estimointi) metsän tilan estimointiin. Nyt on jo valmiuksia mieltää satelliittikuvat strategiaksi. Yksittäisistä käytännön sovelluksista on syytä mainita metsähallituksen osalta ainakin seuraavat: satelliittikuvat kuvioittaisen arvioinnin kontrollissa ja päivityksessä, ilmakuvioiden korvaaminen 2-vaiheisissa otantatekniikoissa sekä erikoiskohteiden nopea paikallistaminen. Viimeksi mainitusta käytännön esimerkkinä voidaan mainita metsähallituksen osalta porolaitumien kartoitus.

Osa tutkimustuloksista on jo jalostunut mikrotietokoneissa toimivaksi kokonaisuudeksi. Toisaalta tekniikka ei enää ole rajoittava tekijä suurtenkaan tietovarastojen osalta. Menetelmän soveltajien kannalta nämä ovat rohkaisevia valopilkkuja.

### Hyödyntämisen näkökohtia

Kaikki tarvittava tekniikka ja tietämys on jo olemassa. Kysymys on vain siitä, mikä organisaatio ottaa ne ensimmäisenä haltuun. Olkoonkin kyse sitten vain status-investoinnista.

Tärkein käytännön toimenpide satelliittitekniikan hyödyntämiseksi olisi juuri nyt koekäytön pikainen järjestäminen. Metsähallituksen kokemusten mukaan näin saadaan parhaiten kartutettua henkistä pääomaa, jonka varaan voidaan tulevaisuudessa rakentaa. Osaamisen jälkeen siirtyminen järjestelmästä toiseen on vaivatonta ja toisaalta näin saavutetaan riippumaton asema sekä laite- että ohjelmistotoimittajiin. Toisaalta kokeilemalla annetaan näyttöä ja näin saadaan päättäjät myötämielisiksi jatkohankinnoille. Lisäksi hankitaan riittävä vaisto siitä, milloin tilanne on jäädytettävä ja esimerkiksi koko systeemi vaihdettava.

### Miten eteenpäin?

Tulevaisuus on kaikesta edellä olevasta huolimatta hyvä ellei loistava. Yhteydenpitoa eri tasojen ja organisaatioiden välillä on vain jatkettava. Henkilövaihtoa olisi lisättävä tuntuvasti taloja ja rajoja kaihtamatta. Yhteinen asia voisi tässä tapauksessa olla nimittäjänä.

Kaikelle toiminnalle on lisäksi hankittava olemassa olon oikeutus. Itsestään selvyykseen ei ole varaa metsätalouden suunnittelussa saati kaukokartoituksen käyttämisessä kyseiseen tarkoitukseen. Uhkien ja mahdollisuuksien jatkuva analysointi on välttämätöntä. Ihmismielen on pysyttävä valppaana.

**KAUKOKARTOITUSTEKNIikka YKSITYISMETSÄTALOUESSA**

Bjarne Häggman

**Taustaa**

Yksityismetsätalouden edistämässä tarvitaan ajan tasalla olevat tarkat tiedot metsien tilasta ja muutoksista. Tietojen avulla pyritään auttamaan metsänomistajia ja heidän metsänhoitoyhdistyksiään mm. metsän hakkuu- ja hoitotoimenpiteiden kohdistamisessa. Lisäksi metsälautakuntaorganisaation tulee jatkuvasti seurata ja tarkastaa tehtyjä toimenpiteitä uuden metsän syntymisen ja kasvun turvaamiseksi.

Keskeisimmät tiedontarpeet liittyvät näin

- puuston määrään ja laatuun
- metsävarojen muutoksiin
- kasvupaikan laatuun
- paikannettuun tietoon toimenpidetarpeista
- teemakartoitukseen.

Metsätalouden strategista ja operatiivista suunnittelua varten on käytössä metsälautakuntiin hajautettu metsävarojen atk-pohjainen laskentajärjestelmä (TASO). Parhailaan on käynnissä digitaalisen kartanpiirustuksen kehittäminen. Nämä eri tietojärjestelmät yhdistetään tänä vuonna toimivaksi kokonaisuudeksi. Vuosittain kerätään maastossa tiedot noin 700 000 eri kuviosta.

Metsätaloudellisten toimenpiteiden hankekohtaista suunnittelua ja seurantaa varten on käytössä oma tietojärjestelmä (HANKE). Vuosittain tallennetaan ja käsitellään runsaat 100 000 eri hanketta. Suunnitelmat tarkastetaan ja tehtyjä

toimenpiteitä seurataan jopa 10 vuotta työlaajista riippuen. Hankesysteemistä saatujen toteutustietojen avulla on mahdollista ylläpitää suunnittelujärjestelmän kuviorekisteriä.

### Tavoitteiden asettaminen

Yksityismetsätalouden eri suunnittelutehtävissä ilmakekuvatekniikan antamien mahdollisuuksien hyväksikäytöllä on pitkät perinteet. Tarvittavat kuvat on aluksi hankittu maanmittaushallituksen yleisiltä kartoituskuvauksilta (mustavalkoiset pankromaattiset kuvat). Vasta kun metsätalouden aluesuunnittelu käynnistyi 1970-luvun alkupuolella siirryttiin omiin tilauskuvauksiin.

Parhaan mahdollisen filmimateriaalin käytön, ja hyvien ilmakekuvien saannin turvaamiseksi kehitettiin SITRA:n tuella yhdessä nykyisen FINNMAP OY:n kanssa ilmakekuvien hyväksikäyttö- ja koulutusmenetelmä (1975), ns. Tapion ik-menetelmä. Myöhemmin on ilmakekuvien laatua jatkuvasti yritetty pitää hyvänä määrittelemällä ja ylläpitämällä metsätalouuskäyttöön tarkoitettujen ilmakekuvien yleiset toimitusehdot (vuodesta 1984), ja väri-infrakekuvien laadunvalvontamennettelyn (vuodesta 1986).

Uusin satelliittitekniologia ja kehittynyt tietojenkäsittely mahdollistavat nyt tehokkaiden kaukokartoitusjärjestelmien integroimisen metsätalouden suunnitteluun ja seurantaan. Satelliittihavaintojen numeerisen kuvankäsittelyn ansiosta on odotettavissa, että lähitulevaisuudessa voidaan tietokoneella nopeasti kartoittaa minkä tahansa kunnan, kylän, tai alueen metsien yleistila ja eräiltä osin myös tarkat yksittäiset metsikkökuviot ja niiden muutokset.

Satelliittikuvatulkinnalla ei kuitenkaan pidä etsiä vastauksia kaikkiin niihin kysymyksiin, joita metsätalouden harjoittaja on tottunut esittämään metsän inventointitilanteessa. On luonnollista, että inventointitiedoille asetetaan eri sisältö- ja laatuvaatimukset niiden käyttötar-

koituksen mukaisesti. Satelliittikuvan erotuskyky ja muut tulkintaominaisuudet asettavat usein rajat saatujen tulkintatietojen käytännön hyväksikäytölle.

Esimerkkinä yksityismetsätalouden sovellustarpeista kaukokartoitusosalalla voidaan mainita

- metsäalueiden ennakkokuvaointi
- hakkuualueiden seuranta ja taimikkojen vesottuneisuuden arviointi
- metsätiestön kartoittaminen ja pitäminen ajan tasalla
- puustotunnusten arvon ja laadun tulkinta
- digitaalisen karttarekisterin ylläpitotehtävät.

#### **Lyhyesti satelliittikuvatulkinnan tähänastisista hyväksikäyttöselvityksistä**

Keskusmetsälautakunta Tapio otti ensimmäiset askeleensa satelliittikuvatekniikkaan vuonna 1982. Silloin käynnistettiin yhteistyössä VTT:n kanssa tutkimus, jossa pyrittiin selvittämään metsätaimikoiden kuntoa. Tarve kehittää maastotyöhön perustuvaa taimikontarkastusmenetelmää oli noussut hyvin voimakkaaksi alkaneiden verohuojennustaimikoiden tarkastusvelvollisuuden myötä.

Satelliittikuvatietojen käyttö todettiin tarkastuksissa järkeväksi ja riittävän luotettavaksi, kun menetelmää kehitettiin uusilla erotuskykyisillä satelliittikuville vuonna 1984. Käytännössä sitä ei kuitenkaan ole käytetty mm. puuttuvien tulkintalaitteiden ja varojen vuoksi. Maanmittaushallitus on tehnyt muutamia lisäkokeiluja menetelmällä vuosina 1986-87.

Vuonna 1984 käynnisti VTT metsäalan yhteisen sovellustutkimuksen nimeltä "Kuvioittainen arviointi satelliittikuville". Keskusmetsälautakunta Tapio oli mukana osarahoittajana. Projekti valmistui maaliskuussa tänä vuonna (1988), ja antoi lupaavia tuloksia metsien eri ennakkokuvaointi- ja kuvatulkintaongelmaan.

Tällä hetkellä Keskusmetsälautakunta Tapio ei rahoita yhtään sovellustutkimusta. Sen sijaan on tekeillä kaukokartoituksen strategista hyväksikäyttösuunnitelmaa tulevalle viisivuotisjaksolle.

### **Kaukokartoitustekniikan kehittämisstrategia**

Ilmakuvatekniikan kehittämisalue on viime vuosina ollut väärävärικuvien laadun vakiinnuttaminen. Kuvien käytön tehostamiseen olisi vielä löydettävä keinoja. Voitaisiin laajentaa niiden käyttöä esimerkiksi metsänhoitokuvioiden koon ja rajauksen määrittämiseen, ja erilaisiin jälkikastustehtäviin. Kokemukset ilmakuvien käytöstä metsätalouden suunnittelussa ovat osoittaneet, että kuvista on ollut suuri hyöty varsinkin kuvioiden rajaamisessa.

Satelliittikuvien keskeisimmät sovellusalueet yksityismetsätalouden kannalta mainitsin yllä. Erityisesti olisi mielestäni nyt panostettava uuden tekniikan hyväksikäyttökokeiluihin kuvioittaisessa arvioinnissa. Kokeilujen pohjalta voitaisiin määrittää menetelmän jatkokehittämistarpeet esimerkiksi toiskertaisen metsätalossuunnittelun kannalta. Satelliitti-informaation hyöty yksityismetsätaloudessa lienee suurin, kun sen avulla voidaan tuottaa "puolivalmisteita" maastotöitä ja jatkosuunnitelmia varten.

Mm. kuvioittaisen arvioinnin satelliittikuvatulkintakokeilujen toteuttamiseksi Keskusmetsälautakunta Tapiossa onkin tekeillä alustavaa kokeilusuunnitelmaa Itä-Hämeen metsälautakunnan kanssa. Tavoitteena on selvittää kuvatulkintamenetelmän hyödyt ja kustannukset, sekä luoda menetelmä, jonka avulla metsätaloussuunnitelmien laadintaa ja pitämistä ajan tasalla voitaisiin helpottaa.

On todettavissa, että tämän päivän kuvankäsittelytekniikka on selvästi kehittyneempää kuin satelliittitietojen sovellustutkimusta ja käytännön kokeiluja. Jotta metsätalous olisi valmis satelliittikuvien käyttöönottoon heti, kun se

teknisesti ja taloudellisesti on mahdollista, on huolehdittava kehitettyjen sovellusten kokeilemisesta ja käyttäjien kouluttamisesta. Tarvitaan hyvää yhteistyötä tutkijoiden ja käyttäjien välillä.

Numeerisen kaukokartoitustiedon hyväksikäytön käynnistämiseksi tarvittaisiin kuvantulkintalaitteistoa Keskusmetsälautakunta Tapion käyttöön. Työasemalaitteiston hankinta on budjeteissa ajoitettu vuodelle 1991. Olisi kuitenkin oltava valmiina nopeampiin päätöksiin, mikäli kokeilut sen osoittavat.

#### Tulevaisuuden metsätietojärjestelmä?

Integroidun metsätietojärjestelmän avulla tulisi olla mahdollista koneellisesti tehdä vertailuja eri ajankohdista olevien kuvien ja karttojen kesken. Näin voitaisiin karvoittaa muutokset metsässä ja tehdä arvioita metsän puustotunnusten kehittymisestä. Arvioiden luotettavuuden varmistamiseksi tarvittaisiin tulkinnan tueksi mittaustietoja maastokoealoista.

Tehokkaan ennakkokartoituksen ja -inventoinnin ansiosta voidaan keskittää ja nopeuttaa tarpeellinen maastotyö. Jo yhdenkin prosentin nopeutuminen maastototöissä merkitsee suuria rahasäästöjä.

Satelliittitiedon vertailussa ja tulkinnassa voisi käyttäjä itse tulevaisuudessa pitkälle määrittää halutun tulkinta- ja tulostustason.

Kaukokartoituskuva pohjainen metsätietojärjestelmä voitaisiin jakaa seuraaviin osiin:

1. Ilmakuvan, satelliittikuvan, metsäkartan, inventointitietojen ja muiden tietoineistojen hankinta, esikäsittely ja tallentaminen.



2. Strategisen metsätaloussuunnitelman laatiminen 5-100 vuodeksi.
3. Eritasoisten operatiivisten suunnitelmien laatiminen 1-5 vuodeksi.
4. Graafisten ym. päätöksentekokohjien luominen.
5. Ratkaisujen vaikutusten arvioiminen operatiiviseen ja strategiseen suunnitteluun.
6. Lopullisen toimintasuunnitelman ja havainnollisten kartta- ym. tulosteiden vahvistaminen ja esittäminen.
7. Tulosten seuranta.

### Lopuksi

Kaukokartoituksella, erityisesti ilmakuvatekniikalla, on erittäin suuri merkitys tämän päivän metsätaloudessa. Jos osaamme kehittää ja tehostaa uusimman satelliittikuvatekniikan käytännön sovelluksia, olen varma että sen merkitys kasvaa hyvin merkittäväksi. Satelliittikuva antaa nopeasti uutta tuoretta tietoa, joka muuten olisi kalliisti ja hitaasti kerättävissä.

Yksityismetsätaloudessa olisi yhä tietoisemmin pyrittävä käyttämään satelliittikuvatekniikan edut ja mahdollisuudet hyväksi sekä perinteisissä seuranta- ja tarkastustehtävissä, että sellaisissa ongelmissa, joita ei ole ennen kyetty ratkaisemaan. Osaamme soveltaa sitä paremmin, eikös vaan?

**ILMA- JA SATELLIITTIKUVIEN KÄYTTÖ METSÄTALouden  
SUUNNITTELUSSA ENSO-GUTZEIT OY:SSÄ JA NIIDEN KÄYTÖN  
KEHITTÄMISTARPEITA**

Hannu Hokkanen

**Nykyinen käyttö**

Ilmakuvien käyttö metsäkartojen teossa aloitettiin Ensossa vuonna 1971. Aluksi metsikkökuvioiden rajat piirrettiin kuvilla stereotarkastelussa ja ne tarkistettiin kuvioittaisen metsikköinventoinnin yhteydessä maastotyönä. Seuraavana vuonna jo aloitettiin kokeilut kuvioittaisen inventoinnin tekemisestä helikopteria apuna käyttäen. Tuloksien katsottiin olevan riittävän tarkkoja käytännön suunnittelutarpeisiin ja helikopteriarviointi otettiin yhtiössä jatkuvaan käyttöön. Menetelmän työvaiheet käytännössä ovat seuraavat:

1. Ilmakuvaus; oikaistut ilmakuvat 1:10 000.
2. Kuviorajojen piirtäminen ilmakuville stereoskoopin avulla.
3. Helikopteriarviointi ja kuviorajojen tarkistaminen ilmasta. Metsätyyppi- ja puustotiedot luetaan magneettinauhalle.
4. Seuraavan talven aikana piirretään kuviokartta ja puretaan puustotiedot nauhoilta kuviolomakkeille.
5. Tehdään metsätalouuskartta kopioimalla kuviorajat peruskartan päälle. Kuvioiden puuston perustiedot merkitään kartalle symboli- ja numeromerkkiryhmillä.

Tuloksena saatu kuvioittainen metsätalouuskartta on osoittautunut maastotöissä käytännölliseksi ja siitä saatava tieto riittäväksi maastosuunnittelua varten. Helikopteriarviointin tuotos on n. 200 - 300 ha/h. Yhden arviointimiehistön työsaavutus on 50 000 - 60 000 ha kesäkaudessa.

## Ilmakuvien käyttö digitaalisessa kartta- ja kuviotietojärjestelmässä

Enso on yhdessä espoolaisen tietotekniikkatalon, TEKLA:n kanssa kehittänyt METSÄTIETOJÄRJESTELMÄN, jossa kartta- ja kuviotiedostot ovat kiinteässä yhteistoiminnassa. Ilmakuville on tässäkin järjestelmässä keskeinen osa karttatietojen muodostamisessa.

Karttojen viivatietojen tallentaminen karttatiedostoon tapahtuu digitoimalla ne käyttäen rinnakkain sekä peruskarttaa, että vastaavan alueen ilmakuvaa. Kartalta otetaan tiedot kiinteistä maaston piirteistä, kuten vesistöjen rannoista ja teistä sekä hallinnolliset tilojen, kuntien, kylien jne. rajat. Ilmakuville taas syötetään metsikkökuvioiden rajat, jotka on niille piirretty edellä esitetyllä tavalla stereotarkasteluna ja helikopteriarvioinnin yhteydessä tarkistettuna. Koko kartasto toimii yhtenäiskoordinaatistossa, joten karttalehtijakoa ei enää tarvita muuhun kuin paikantamisen helpottamiseen.

## Kaukokartoituksen käyttömuotoja tulevaisuudessa

Tietokoneperusteinen ilma- ja satelliittikuvien käsittely on kehitymässä erittäin nopeasti. Satelliittikuville aletaan jo nykyisilläkin menetelmillä saada varsin tarkkoja metsän inventointitietoja esimerkiksi puuston kokonaistilavuudesta. Pikselin koko kuitenkin vielä rajoittaa tarkkojen arvioiden saamista monista yksityiskohdista, kuten puulajisuhteista tai metsikön tiheyden muutoksista vaikkapa harvennusten johdosta. Työskentelytapojen kehittyessä edelleen monipuolistuvat ilma- ja satelliittikuvien käyttömahdollisuudet nykyisestä. Seuraavassa esitetään muutamia käytön muotoja, jotka tuntuisivat piankin tulevan mahdollisiksi tai ainakin ovat kentällä käyttäjien toive-listalla.

1. Kuviorajojen automaattinen piirtäminen ja digitoitujen rajatietojen siirto karttatiedostoon

Tämä toiminto olisi ilmeisesti jo nykyiselläänkin mahdollista esimerkiksi avohakkuualueiden ja teiden tai muiden selkeästi erottuvien teräväreunaisten kuviorajojen paikantamisessa. Kasvatusvaiheessa olevien metsiköiden rajauksen ongelmana on ja tulee pitkälti olemaan kuviokäsitteen epämääräisyys varsinkin silloin, kun kuvioita toisistaan erottavina tekijöinä pidetään vähitellen vaihtuvia piirteitä kuten puulajijakaantumaa tai puuston järeyttä. Koska paikannettavissa oleva tieto puustosta on käytännön toimenpiteiden suunnittelijan kannalta ensiarvoisen tärkeää saada käyttöön nopeasti tarvittavien marginaalierien hyödyntämiseksi, olisi tämän ongelman ratkaisuun paneuduttava erityisesti kaukokartoitusmenetelmien käyttökelpoisuuden lisäämiseksi.

2. Puustotietojen mittaaminen ja niiden muutosten havaitseminen

Kuvioittainen puustotietojen käytettävyys ja hallinta on perusta käytännön metsätaloudellisten toimenpiteiden suunnittelulle. Sen hankinta perinteisin maastoinventointimenetelmin on kovin työlästä, hidasta ja kallista. Lisäksi tulosten kuviokohtainen luotettavuus on varsin alhainen.

Satelliittikuvilta on jo päästy joissakin olosuhteissa varsin hyvään tarkkuuteen puuston kokonaiskuutiomäärän mittaauksessa. Menetelmiä olisi edelleen kehitettävä, jotta samantasoiseen tarkkuuteen päästäisiin puulajijakaantumaa ja puuston järeyden suhteen. Satelliittikuvien pikselin koko saattaa nykyisellään tehdä näiden tunnusten mittausten tarkkuuden parantamisen mahdottomaksikin, mutta ehkäpä matalakuvauksessa voitaisiin siirtyä myöskin digitaaliseen kuvaukseen tai sitten ilmakuvat muuttaa digitaaliseen muotoon. Tällöin ilmeisesti tiedon tarkkuus lisääntyisi mer-

kittävästi, jolloin kuvilta voitaisiin saada nykyistä yksityiskohtaisempaa tietoa.

Harvennushakkuiden vaikutukset puuston tilavuuteen ja rakenteeseen olisi myös voitava havaita ja paikantaa kaukokartoituksen menetelmin.

### 3. Hakkuiden ja metsänhoidollisten toimenpiteiden tarpeen määrittely

Taimistojen vesakoituminen on jo nykyisellään onnistuttu huomaamaan satelliittikuvilta. Samoin olisi saatava mahdolliseksi havaita kasvatettavan puuston harvennusvaiheeseen tulo. Myöskin ojien kunnostustarve ja metsissä esiintyvät vakavammat tuhot tai sairaudet olisi pyrittävä saamaan kaukokartoituksen menetelmien avulla esiin.

Edellä on esitetty muutamia näkökohtia, joita käytännössä metsätalouden parissa työskentelevä joutuu jatkuvastikin pohdiskelemaan koettaessaan kehitellä omaa työtä helpottavia ja sen tuloksellisuutta parantavia keinoja. Valtakunnassa on kyllä tietoa ja päteviä tutkijoita tai asiaan vihkiytyneitä käytännön miehiä. Monilta osin kehittelystä on kuitenkin tullut omiin kammioihin pitäytyvää jopa salailevaa työskentelyä. Koko maan etujen mukaista olisi saada näiden lupaavien uusien tekniikoiden kehittämiseen ja käytännön sovellutukseen yhteinen ohjaus. Tällöin nykyisin useammassakin eri paikassa tehtävä työ voitaisiin koordinoita ja yhteisin kehittämissuunnitelmin päästä nopeammin käytäntöäkin hyödyttäviin tuloksiin.

**KAUKOKARTOITUS MAANMITTAUSHALLITUKSESSA**

Jussi Paavilainen

Maanmittaushallituksen oma kaukokartoitussovellutus on kartanvalmistus, jossa satelliittikuvien käytön voidaan sanoa alkaneen, joskin käyttömäärät ovat toistaiseksi olleet varsin pieniä. Tiekarttojen ajantasaistuksessa kuvia on käytetty jo joitakin vuosia, samoin muiden pienikaa-vaisten karttojen valmistuksessa. Tänä vuonna on aloitettu uuden topografisen kartan 1:50 000 tuotanto, joka pyritään tekemään mahdollisimman automaattisin menetelmin. Siinä käytetään ensisijassa peruskartan aineistoa, mutta joitakin elementtejä pyritään ottamaan myös satelliittikuvilta. Tässä tarkoituksessa MMH:n, VTT:n ja topografikunnan yhteistyönä on tehty useita koetöitä satelliittikuvien käytöstä. Tänä vuonna on menossa tutkimus tekstuuriomuuttujen käytöstä tulkintatuloksen parantamiseksi.

Toinen osa kaukokartoitustoimintaa maanmittaushallituksessa on kuvien välitys ja teknillinen prosessointi, johon tämä esitys pääasiassa keskittyy. Maanmittaushallituksen ilma-kuvatoimistossa on vuodesta 1984 ollut kaukokartoitusjaos, jonka tehtävänä on hankkia maahan satelliittikuvia, tehdä tilauksesta kaikenlaista kuvankäsittelyä sekä valmistaa satelliittikuvista jalostettuja tuotteita lähinnä yleisten kartastotehtävien periaatteiden mukaisesti. Jaoksessa työskentelee tällä hetkellä seitsemän henkilöä ja siellä on varsin täydelliset digitaalisten kuvien käsittelylaitteet. Valokuvatuuotteiden valmistus tapahtuu ilmakehvalaboratoriossa. Tarkastellaan lähemmin näitä tehtäväkokonaisuuksia.

## Kuvien välitys ja esikäsittely

Maanmittaushallitus on Suomessa ainoa Landsat- ja Spot-kuvia maahantuova laitos. Landsat-kuvat tulivat Suomeen aiemmin Earthnet organisaation kautta, mutta vuonna 1987 perustettiin kuvien välitystä hoitamaan Eurimage niminen yhtiö ja samassa yhteydessä Landsat-kuvat kaupallistettiin myös Euroopassa. Samana vuonna maanmittaushallitus teki sopimuksen Eurimagen kanssa kuvien välityksestä Suomessa. Spot-kuvien välitys tapahtuu ruotsalaisen Satellitbild Ab:n kautta. Lisäksi kuvia hankitaan tarvittaessa myös muilta vastaanottoasemilta maailmalla. Landsat- ja Spot-kuvat ovat nykyään täysin kaupallisia ja niitä koskevat copyright säännöt.

Kuvia toimitetaan joko digitaalisina magneettinauhoilla tai erilaisina valokuvatuotteina. Vastaanottoasemilla valmistetut kuvatuotteet ovat automaattisin menetelmin valmistettuja standardituotteita, jotka sellaisenaan sopivat moniin visuaalisen tulkinnan tehtäviin, mutta täyden hyödyn saamiseksi kuvia usein joudutaan käsittelemään digitaalisesti joko automaattitulkintaa varten tai parantamaan kuvia visuaalista tulkintaa varten. Tällaisissa tapauksissa kuville tehdään maanmittaushallituksessa digitaalisesti joitakin esikäsittelytoimenpiteitä, kuten: kuvan oikaisu karttaprojektioon, juovituksen poisto, erilaiset suodatukset, sävyjen säätö sekä värikompositioiden valmistus ja kuvien tulostus filmille.

## Maanmittaushallituksen omat tuotteet

Sekä kartoituksen, että muiden sovellutusten käyttöön maanmittaushallituksen ilmakuvatoimistossa tehdään joitakin jalostettuja satelliittikuvatuotteita. MSS-kuvista on koottu koko maan kattava satelliittikuvamosaiikki, jossa pikselikoko on  $100 \times 100 \text{ m}^2$  ja se on laskettu yhtenäiskoordinaatistoon. Siinä on mukana kaikki MSS-kuvan alkuperäiset kanavat. Mosaiikista on sävyerottelulla tulkittu

vesistöelementti, jonka oikoluku on parhaillaan käynnissä. Siitä voi tulkita myös muita yksinkertaisia tietoja ja lisäksi siitä voi tulostaa erilaisia värikompositioita visuaalista tulkintaa varten. Sen ensisijaiset käyttöalueet ovat pienikaavainen kartoitus, käyttö erilaisten teemaattisten karttojen pohjana ja käyttö digitaalisten tietokantojen osana. Mosaiikin sijaintitarkkuus on parempi kuin pikselikoko eli 100 m, joten se muodostaa sijainniltaan tarkan yhtenäisen karttapohjan koko maasta. Tarkkuus riittää aina 1:400 000 mittakaavaan asti.

Uusin hanke, jota tehdään maanmittaushallituksen omana työnä on maankäyttö- ja puustotietojen tulkinta koko maasta. Työ aloitettiin tämän vuoden alussa ja sen ensikartoitusvaiheeseen osallistuvat ympäristöministeriö, vesi- ja ympäristöhallitus, posti- ja telelaitos, tilastokeskus ja Lapin seutukaavaliitto. Tulokinnassa käytetään Landsat TM- ja Spot-kuvia ja se tehdään ruutukokoon 25 x 25 m<sup>2</sup>. Tulokittavia luokkia on noin viisikymmentä mm. seuraavat: vedet, pellot, sorakuopat, turpeenottamot, metsistä puulajit, puuston kuutiomäärät, hakkuuaukeat, taimikot jne. Ensikartoituksen aineistona käytetään pääosin vuosien 1987 ja 1988 kuvia, työ valmistuu vuoden 1990 alkupuolella, joten tuloksena on varsin tuoretta tietoa. Ensikartoituksen valmistuttua aloitetaan tuotteen ajantasaistus, jonka tiheydestä ei vielä ole tehty päätöksiä, mutta se voisi olla jatkuvaa riippuen lähinnä pilvettömien kuvien saataavuudesta. Tulkintatulos muodostaa digitaalisen karttatuotteen, jota valmistetaan ja myydään yleisten kartastotehtävien periaatteiden mukaisesti.

#### **Tilaustehtävät**

Maanmittaushallitus on näihin päiviin saakka ollut ainoa laitos, joka on tehnyt rutiininomaista tuotannollista digitaalisten kuvien käsittelyä ja niin muodoin pyrkinyt palvelemaan kaikkia sovellutusaloja. Tilaustehtävät ovat



olleet joko teknillisiä kuvien käsittely- ja tulostustehtäviä, tai kertaluonteisia tulkintatoimeksiantoja ja yleensä alueellisesti rajattuja. Tilaustyöt joudutaan tekemään tiiviissä yhteistyössä tilaajan kanssa, jotta tulokinnan vaatimukset tulevat otetuiksi hyvin huomioon. Metsätalouden ollessa taloudellisesti merkittävä satelliittikuvien käyttäjä, suuri osa tilaustehtävistäkin on keskittynyt metsätalouden ja kasvillisuuden aloille. Tähän saakka tehdyistä toimeksiannoista mainittakoon seuraavat: Kolarin kunnan maankäyttö- ja puustoluokitus, Ylä-Savon alueelta vastaava luokitus, taimikoiden vesottuneisuuden tulkintaa useiden kuntien alueella, metsätuhojen kartoitusta minkkitarhojen ympäristöstä, useita pienehköjä kasvillisuustulkintoja.

Näyttää siltä, että tilaustehtävien määrä tulee kasvamaan tasaisesti tästä eteenpäinkin. Maanmittaushallituksen resurssit tällaisten tehtävien tekemiseen ovat rajalliset ja niitä ei voida määrättömästi lisätä. Sen vuoksi tilaustehtävien painopiste on eri sovellutusten kokeilussa ja niiden saattamisessa rutiinikäytön tasolle. Sen sijaan jatkuva tuotantotoiminta jollakin sovellutusalueella edellyttää omien resurssien hankkimista tai konsulttien käyttöä. Viime aikojen kehitys näyttääkin menevän tähän suuntaan, esimerkkinä voi mainita vesi- ja ympäristöhallitukseen perustetun ympäristötietokeskuksen, joka tulee käsittelemään myös satelliittikuvia. Myös jotkin konsultit ovat alkaneet käsitellä satelliittikuvia, joten resursseja näyttää tulevaisuudessa olevan käytössä eri tahoilla.

## **KAUKOKARTOITUS METSÄTEOLLISUUDESSA - MISSÄ MENNÄÄN? KONSULTTI JA KAUKOKARTOITUS**

Pertti Veijalainen

### **Jaakko Pöyry Oy:n tehtäväkenttä**

Jaakko Pöyry Oy:n tehtäväkenttä kattaa pääasiassa metsäteollisuuden ja metsätalouden suunnittelun. Metsätalouden suunnittelutehtävistä suurin osa on Suomen ulkopuolella, enimmäkseen subtrooppisilla ja trooppisilla alueilla. Tehtävien laatu vaihtelee metsätalouden valtakunnallisesta yleissuunnittelusta yksittäisiin pienialaisiin metsänviljelyhankkeisiin. Hankekohtaiset metsäpinta-alat voivat täten vaihdella muutamista tuhansista useihin miljooniin hehtaareihin, joskin yksityiskohtaisemmat suunnitelmat kattavat yleensä vain ne osat metsäpinta-alasta, joille on löydettävissä taloudellisesti mielekäästä käyttöä tai jotka on suojeltava.

Tyypillinen tuotteemme on metsätalouden ja/tai metsäteollisuuden alueellinen tai valtakunnallinen yleissuunnitelma eli Master Plan, joita on tehty viimeisten 20 vuoden aikana ainakin 15 maalle tai suurehkolle osa-alueelle. Lähes poikkeuksetta suurimpia ongelmia tällaisten suunnitelmien laatimisessa on ollut maankäytön ja metsävarojen tietopohjan hataruus tai vanhentuneisuus, jota on ollut pakko paikata tilastoja muokkaamalla tai erityisinventoinneilla.

### **Kaukokartoituksen käyttö tähän mennessä**

Rajaan kokemuksemme kaukokartoituksen soveltamisesta yhtiössämme menneisyyden osalta satelliittien avulla tuote-

tun havaintomateriaalin käyttöön lähinnä metsäinventoinneissa. Lyhyesti ja yksinkertaisesti on todettava, että kokemuksemme tässä suhteessa ovat varsin rajoitetut.

Ensimmäiset yritykset satelliittikuvien käytössä tehtiin 1970-luvun lopulla. Tällöin käytettiin Landsat-kuvia visuaalisena tulkintana Iranin metsien luokittamiseksi, mutta tulokset jäivät ilmeisen vaatimattomiksi. Syvällisempää tulkintaa ei tosin liene edes yritetty, eikä silloinen tietokonepohjainen tulkinta ehkä ollut riittävän kehittyneittäkään.

Toinen mainittavampi yritys oli Spot-kuvien käyttö Portugalin eukalyptusmetsien inventoinnissa vuonna 1986. Tulos ei nytkään ollut täysin myönteinen, koska tulkinnassa ei saatu erilleen mänty-eukalyptus sekametsiä puhtaista mäntymetsistä. Puhtaat eukalyptusmetsät sen sijaan oli mahdollista luokitella suhteellisen luotettavasti. Tarkoituksena oli lähinnä metsien sijainnin ja pinta-alojen määrittäminen. Tulkinta oli tietokonepohjainen.

Vuosina 1985-87 teimme metsätaloussuunnitelman Sansibarin saarelle Tansaniaan. Tässä yhteydessä yritimme saada Spot-kuvan saaresta metsäpinta-alan ja kaskiviljelypinta-alan määrittämiseksi. Hanke kaatui siihen, ettei laadullisesti riittävän hyvää kuvaa saatu ajoissa. Syynä oli pääasiassa alueelle tyypillinen runsas pilvisuus.

#### **Nykyinen strategia kaukokartoituksen suhteen**

Heikko menestys menneisyydessä ei ole mikään syy aliarvioida kaukokartoituksen suomia mahdollisuuksia konsulttityössä. Olemme parin viimeisen vuoden aikana seurailleet aikaisempaa aktiivisemmin alan kehitystä ja muotoilleet mahdollisia kehityslinjoja. Yleisenä tavoitteena kaukokartoituksen strategiaa luotaessa on lähinnä se, että sitä sovellettaessa saavutetaan kustannus- tai laadullista hyötyä verrattuna seuraavaksi parhaaseen menetelmään. Koska

yhtiönä emme ole erikoistuneet kaukokartoitukseen tai kartoitukseen yleensä, emme katso ainakaan toistaiseksi aiheelliseksi sijoittaa varoja menetelmäkehitykseen tai kalliisiin laitteisiin. Tulkintapalvelut on siis ostettava muualta.

Kustannussyistä johtuen katsomme myös, että ensimmäiset perusteelliset sovelluskokeet tulee tehdä jonkin sopivan projektin yhteydessä, josta ne rahoitetaan. Tästä saadun kokemuksen pohjalta voimme harkita tulevan kehityksen suuntaviivoja. Näillä näkymillä tulemme tuskin etenemään omien sovellusohjelmien kehittelyn suuntaan kovin nopeasti, puhumattakaan perusmateriaalin käsittelyyn tarvittavien laitteistojen tai ohjelmistojen hankinnasta.

#### **Todennäköiset sovellusalueet**

Kaukokartoituksen tarjoamat sovellusmahdollisuudet verrattuna perinteisiin menetelmiin ovat melko suorassa suhteessa niillä tuotettujen kuvien erotuskykyyn. Spot-satelliitin 10 metrin ja tulevan Landsat 6-satelliitin 15 metrin erotuskyky pankromaattisella alueella merkitsevät sitä, että niistä tehdyt kuvat ovat visuaalisessa tarkastelussa melko hyvin vertailukelpoisia perinteisiin ilmakehuviin nähden mittakaavassa 1:50 000. Digitaalisen käsittelyn suomat mahdollisuudet ovat lisäksi mittavat. Tämä tarkkuus ja nykyiset tietokonepohjaiset kuvien käsittelymenetelmät antavat hyvät mahdollisuudet satelliittikuvien käyttöön ainakin seuraavissa konsulttityössä usein vastaantulevissa tehtävissä:

1. Perusrakenteen kehitysasteen selvittäminen
  - tiestöt, rautatiet, lentokentät, satamat ja asutuskeskukset
2. Olemassaolevan kartta- tai muun lähdeaineiston päivitys
  - perusrakenne, maankäyttö, metsäpinta-alat

3. Pohjakarttojen laatiminen, sekä topografiset että temaattiset
  - mikäli minkäänlaisia karttoja ei saatavissa
  - olemassaolevat kartat vanhoja tai epäluotettavia
  
4. Kuvatulkinta alueilla, joista tiedot kokonaan puuttuvat
  - maankäyttö
  - metsäpinta-ala
  - perusrakenteet
  - topografia.

Joissakin olosuhteissa on tietenkin mahdollista suorittaa tarkempia luokituksia esimerkiksi puulajisuhteiden ja kuutiomäärien osalta, mikäli tehtävän luonne sallii laajat virherajat. E erityisen sopivia kohteita satelliittikuvatulkintaan ovat mm. Argentiinan istusmetsät, jotka on perustettu pampa-alueelle ja jotka voidaan erottaa ympäröivästä kasvillisuudesta erittäin helposti. Näissäkin olosuhteissa paras apu satelliittikuvista on kokonaispinta-alojen tarkistuksissa, kun taas esimerkiksi ikäluokkien erottaminen vuoden tarkkuudella lienee lähes mahdotonta.

**KAUKOKARTOITUS JA KAUKOMAAT****Kokemuksia kehitysyhteistyöhankkeesta**

Matti Määttä

**Amanin metsäinventointi ja metsäsuunnitelmaprojekti**

Amanin metsäinventointi ja metsäsuunnitelmaprojekti oli osa Suomen Tansanian metsä- ja puutaloudelle antamasta kehitysavusta. Projektin toteutti Finnmapin ja Silvestrian muodostama työyhteisö joulukuusta 1985 huhtikuuhun 1988.

Tehtävänä oli Koillis-Tansaniassa Itä-Usambaran vuoristoalueella vielä jäljellä olevien noin 22 000 metsähehtaarin metsävarojen ja suojeluarvojen inventointi ja suunnitelman, joka koski alueen maankäyttöä, luonnon- ja valuma-alueiden suojelua sekä metsätaloutta, koostaminen yhteistyössä Tansanian viranomaisten sekä IUCN:n (kansainvälinen liitto luonnon ja luonnonvarojen suojelemiseksi) kanssa. Lisäksi alueelle 1950-luvulla tehdyt topografikartat tarkennettiin ja ajantasaistettiin.

Itä-Usambaran metsät luokitetaan trooppisiin kosteisiin vuoristometsiin, maallikolle ne ovat sademetsiä. Vuoristoketju, johon Itä-Usambara kuuluu on pysynyt pitkään geologisesti vakaana ja metsät erillään vastaavanlaisista metsistä. Tämä on johtanut kasvi- ja eläinlajien, joita ei löydetä mistään muualta maailmasta, kehittymiseen. Esimerkiksi noin 250 puulajista 11 on löydetty ainoastaan Itä-Usambarasta ja suuri osa vain muutamista saman vuoristoketjun metsistä Tansaniassa. Täältä ovat lähtöisin myös kukkakauppojen saintpauliat ja täällä ne esiintyvät vielä luonnonvaraisina.

1800-luvun afrikkalaista kuningaskuntaa ovat seuranneet saksalaiset ja englantilaiset siirtomaaherrat ja itsenäinen, köyhä Tansania. Metsät ovat väistyneet kahvin, teen, kaakaon ja kardemumman sekä kasvavan väestön pienviljelmien levitessä. Puita on korjattu koneellisesti paikallisen metsäteollisuuden tarpeisiin ja sahattu paikan päällä lankeiksi. Metsätalous on itsenäisyyden aikana ollut heikosti valvottua parhaiden puiden harsintaa, osin Suomen kehitysavun tukemana. Suomen kehitysyhteistyövaroilla oli näitä metsiä myös inventoitu aiemmin ja tehty metsäteollisuuden raaka-ainevaralaskelmia ottamatta huomioon metsiin kohdistuvia muita paineita.

#### **Kaukokartoitus Itä-Usambaran metsien inventoinnissa Ilmakuvat**

Ensi tutustuminen metsäalueeseen tehtiin lentokoneesta. Metsiä kuvattiin normaalilla videokameralla, filmiä käytettiin antamaan yleiskuvaa alueesta.

Projekti kuvautti metsäalueen väärävärifilmille mittakaavoissa noin 1:30 000 ja 1:11 000, paperikuvat valmistettiin mittakaavoissa 1:25 000 ja 1:11 000. Suurempimittakaavaisia kuvia katsottiin tarvittavan suojeluarvojen ja valuma-alueiden tutkimiseen sekä maastossa suunnistamiseen. Kuvaussäitä alettiin odotella elokuun kuivana kautena 1985, mutta ensimmäisen kerran pilvet väistyivät vuorilta vasta lyhyiden sateiden jälkeen tammikuussa 1986. Saadut kuvat ovat miltei pilvettömiä ja erittäin hyvälaatuisia, mittakaava yhden kuvan alueella vaihtelee huomattavien korkeusvaihtelujen takia.

Ilmakuville rajattiin yhtenäisen latvuspeiton muodostavat metsäalueet. Mallialueiden ja topografikarttojen perusteella metsät tulkittiin ilmakuvilta luokkiin niiden luonnontilaisuuden ja saavutettavuuden perusteella. Tehty tulkinta osoitti, että miltei koskemattomien, hakattavissa olevien luonnonmetsien pinta-ala oli enää muutamia tuhan-

sia hehtaareita. Pinta-ala pieneni nopeasti koneellisen hakkuun edetessä ja kerätessä pienin hehtaari-poistumin arvokkaat puut ja samalla vaurioittaen maaperää ja jäljelle jääviä puita - suomalaisten tukema Tansanian valtion metsäteollisuusyritys päätti poistua vuorilta.

Ilmakuvatulkinta sekä ilmakuvilta näkyvä muu informaatio siirrettiin vanhojen, suurennettujen topografikarttojen pohjalle stereokartoituksena Suomessa. Näin saatiin alueelle kohtuuhintaan siedettävän tarkka topografikartta.

Metsissä on kaikkialla täydellinen latvuspeitto. Keskitilavuus ei vaihtele niin paljon kuin Suomessa, metsän arvon määrää puulajikoostumus, joka muuttuu asteettain makrotasolla korkeudesta, sademäärästä ja ihmisen vaikutuksesta riippuen. Metsiä ei ilmakuvilta pystytty osittamaan riittävän homogeenisiin luokkiin, ja kun suunnistusta helpottavia sekä maastossa että ilmakuvalla selkeästi erotettavia kohteita ei metsässä juuri ole, päätettiin metsien inventointi tehdä perinteisenä linja-arviointina. Linjalta mitattiin neljän ympyräkoealan muodostamia koealarypäitä. Maastotyön aikana kartoille täydennettiin teitä, polkuja, vesistöjä ja nimistöä. Maastossa liikkuminen olisi ollut vaikeaa ilman ilmakuvia.

### Satelliittikuva

SPOT-satelliitti oli ottanut inventoinnin aikana kesäkuussa 1986 alueesta miltei pilvettömän aamukuvan, joka tilattiin Suomeen. Maanmittaushallituksen kuvankäsittelylaitteilla numeerisesta aineistosta tehtiin sävyiltään lähellä väärävärrikuvia oleva kuva, joka tulostettiin mittakaavassa 1:50 000. Kuvalta saa erittäin hyvän yleiskuvan alueesta.

Maanmittaushallituksessa kokeiltiin antamiemme tukialueiden perusteella kuvalle numeerista luokitusta, jolla pyrittiin saamaan eron eri metsäluokat sekä ei-metsäalueiden karkeat maankäyttöluokat. Metsät ja muut maat saatiin erilleen



toisistaan, mutta näiden kahden luokan sisällä osittelu osoittautui vaikeaksi. Hankaluutena olivat pilvet, rinteisyys ja korkeusvaihtelut sekä useat samanlaisina säteilyarvoina kuvautuvat maankäyttöluokat. Luokituksella saatiin 180 000 hehtaarin alue jaettua 15 eri luokkaan ja laskettua luokkien pinta-alaosuudet. Myös numeerisen luokituksen lopputulos tulostettiin tyylikkäänä kuvana.

Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksella tehtiin lisäksi opinnäytetyö, jossa selvitettiin säteilyarvojen ja eri metsäluokkien ja metsän keskitunnusten riippuvuutta. Maastoaineiston avulla kokeiltiin inventointimenetelmää, jossa satelliittikuvalta muodostetuille ositteille laskettiin keskitilavuus maasto-otoksen avulla. Keskitilavuuden määrittäminen onnistui korkeintaan tyydyttävästi, vaikeudet olivat samat kuin numeerisessa luokituksessa ja lisäksi maastokoealojen paikantamisen epätarkkuus. Keskitilavuus ei sinällään kerro metsän arvoa eikä maastossakin kasvitieteilijää vaativa puulajiluokitus onnistu säteilyarvojen perusteella.

### **Päätelmiä**

Kehitysmaissa kartat ja paikkaan sidottu tieto luonnonvaroista ovat useimmiten hyvin puutteellisia. Satelliittikuvilta on mahdollista saada useisiin tarpeisiin riittävän tarkkaa ennakkoinformaatiota kohtuuhintaan ja satelliittikuvia voidaan käyttää puutteellisten karttojen rinnalla. Kuvat ovat havainnollisia ja tyylikkäitä, niiden esittely nostaa sekä asiantuntijan että paikallisten viranomaisten arvostusta.

Yhdistettynä muuhun saatavissa olevaan informaatioon satelliittikuvia voidaan käyttää suurten alueiden osittelussa vaikkapa valtakunnan luonnonvarojen paikantamiseksi sekä pinta-alojen ja määrien selvittämiseksi. Mitä tarkempia tuloksia halutaan ja mitä enemmän alueen pienvaihtelu kasvaa sitä pienempi on satelliittikuvista saatava hyöty. Suo-

messä tulkinta on helpompaa tasaisessa maastossa vain muutamien puulajin muodostamissa metsiköissä, jossa muutoksia aiheuttavat pääasiassa metsätalous ja hitaat luonnonprosessit. Meillä metsää kuvaavia malleja on saatavilla, kehitysmaissa on kaikki tehtävä itse.

Luonnonvarojen seurannassa satelliittikuvat ovat käyttökelpoisia, jo kahden peräkkäisen kuvan visuaalinen vertailu paljastaa esimerkiksi metsäalan pienenemisen. Toisaalta, kuka tietää, milloin Itä-USambaralta saadaan seuraava pilvetön satelliittikuva.

Jos alueita ja niiden luonnonvaroja halutaan kartoittaa tarkemmin, ovat kunnolliset ilmakuvat välttämättömiä. Vääräväririkuvat olivat selvästi mustavalkoisia parempia, vaikka niiltäkään ei luonnonpuulajeja pystynyt erottamaan toisistaan. Itä-USambarassa metsän alla viljellään kardemummaa, joka köyhdyttää maaperää ja usein johtaa metsän muuttumiseen maatalousmaan kautta pensaikoksi. Kardemumman löytäminen ilmakuvasta latvuspeiton alta ei ennakkotulkinnassa onnistunut.

Paitsi metsäsovelluksiin voidaan ilmakuvia käyttää ainakin kartoitukseen, maankäyttöselvityksiin ja -suunnitelmiin, väestökartoitukseen, valuma-alueiden ja eroosion etenemisen tutkimiseen sekä tietysti alueella toimimiseen. Kartoitusta Itä-USambaralla vaikeutti se, että laaksojen pitempi puusto tasaa ilmakuvalla näkyviä maaston korkeusvaihteluita.

Kehitysmaiden organisaatioiden omat varat eivät riitä kalliiden kuvausten tilaamiseen ilman kehitysapujärjestöjen taustatukea. Satelliittikuvien käyttö on halvempaa ja kohtuuhintaisia kuvankäsittelyasemia on saatavilla, laitteiden huolto ja ohjelmistojen osaaminen kuitenkin monesti puuttuvat. Aina voi myös kysyä, olisiko käytetyt varat voinut käyttää toisinkin.

Lopulta on kuitenkin myös uskaltauduttava itse maastoon - jyrkille rinteille, tiheisiin pensaikkoihin, käärmien

sekaan. Kehitysmaissa maastotyö on halpaa, koska paikalliset päiväpalkat ovat pieniä, kaukokartoituksen ja maastotyön edullisin suhde on eri kuin Suomessa. Projektimme kaltaisen hanke saattaa olla paikalliselle metsävälle harvinaisen tilaisuus päästä metsään ja ainakin meidän tapauksessamme Tansanian metsähallituksen metsäninventoijat osoittautuivat työ- ja oppimishaluisiksi sekä erittäin maastokelpoisiksi.

## KAUKOKARTOITUKSEN PARISSA TYÖSKENTELEVÄT LAITOKSET SUOMESSA

### I. YLIOPISTOT JA KORKEAKOULUT

#### 1. Helsingin yliopisto

Geologian laitos  
Kallioperän rakennekartoitusta ja maaperäkartoitusta  
satelliittikuvilta

Metsänarvioimistieteen laitos  
Ilma- ja satelliittikuvien käyttöä metsien inventoinnissa ja  
seurannassa  
Kaukokuvien numeerisen metsätulkinnan työaseman ja ohjelmis-  
ton kehittäminen

Maantieteen laitos  
Luonnonmaantieteeseen liittyvät tutkimukset

Meteorologian laitos  
Tutkakuvien käyttö sääennusteissa

#### 2. Joensuun yliopisto

Ilma- ja satelliittikuvien käyttö harjumaiseman tilan  
seurannassa  
Satelliittikuvien käyttö valtakunnan metsien inventoinnissa

#### 3. Kuopion yliopisto

Ympäristöhygienian laitos  
Puiden elinvoimaisuus. Video- ja diakuvien tulkintaa

#### 4. Oulun yliopisto

Geofysiikan laitos  
Kallio- ja maaperägeologian tutkimuksia

Geologian laitos  
Kallio- ja maaperägeologian tutkimuksia

Maantieteen laitos  
Kallio- ja maaperägeologian tutkimuksia

Tähtitieteen laitos  
Vesialueiden tulkintaa satelliittikuvilta

Tietotekniikan laboratorio  
Kaukokartoituksen tietokoneohjelmat

**5. Teknillinen korkeakoulu**

Radiolaboratorio  
Mikroaaltosäteilyn käyttö kaukokartoituksessa eri sovellutusaloilla

Fotogrammetrian laboratorio  
Diplomityöt kuvatulkinnassa, digitaalinen fotogrammetria

**6. Turun yliopisto**

Maaperägeologiaan liittyviä tutkimuksia

**7. Tampereen teknillinen korkeakoulu / Tietojenkäsittelytekniikan laitos**

Työaseman ja ohjelmiston kehittäminen

**II. TUTKIMUSLAITOKSET**

**Geodeettinen laitos**  
Kaukokartoituksen käyttö kartastotehtävissä

**Merentutkimuslaitos**  
Merialueiden tutkiminen ja jäähavaintotoiminta NOAA- ja Landsat-kuvilta

**Metsäntutkimuslaitos**  
Ilma- ja satelliittikuvien käyttö valtakunnan metsien inventoinnissa

**Valtion teknillinen tutkimuskeskus**  
Digitaalisen kuvankäsittelyn tutkimus. Sovellustutkimuksia eri aloilla

**III. KESKUSVIRASTOT, VALTIONAPULAITOKSET**

**Geologian tutkimuskeskus**  
Geologinen kartoitus ja malminetsintä

**Ilmatieteen laitos**  
Sääsatelliitti- ja tutkakuvien käyttö sääennusteissa

**Maanmittaushallitus**  
Karttatuotanto, ilmakuvaus, satelliittikuvien välitys ja käsittely

**Metsähallitus**  
Ilma- ja satelliittikuvien käyttöä metsien inventoinnissa, erityisselvityksiä, kuten porolaitumet

**Puolustuslaitos**

Ilmakuvaukset. Ilma- ja satelliittikuvien käyttöä puolustus-tarkoituksiin

**Vesi- ja ympäristöhallitus**

Ympäristön tilan seuranta, vesistöaluerekisteri, syvyys-kartoitus

**Keskusmetsälautakaunta Tapio ja metsälautakunnat**

Ilmakuvien operatiivinen käyttö metsätalouden suunnittelussa  
Satelliittikuvien käyttömahdollisuuksien selvittäminen  
metsien inventoinnissa ja metsällisten toimenpiteiden seu-  
rannassa

**IV. YKSITYISET YRITYKSET JA LAITOKSET****Suunnittelu- ja insinööritoimistot**

Ilma- ja satelliittikuvien käyttöä erilaisissa tehtävissä  
koti- ja ulkomailla

**Vuoriteollisuus**

Geologiseen kartoitukseen ja malminetsintään liittyvät  
tehtävät

**LAITOKSET, JOILLA ON DIGITAALISTEN KUVIEN KÄSITTELYYN SOPIVIA  
LAITTEITA**

Geodata Oy

Helsingin yliopisto

Joensuun yliopisto

Maanmittaushallitus

Metsähallitus: SUN-kuvatyöasema

Nokia-data: " "

Oulun yliopisto

Tampereen teknillinen korkeakoulu

Teknillinen korkeakoulu, fotogrammetrian laboratorio

Tietokumpu Oy

Valtion teknillinen tutkimuskeskus, instrumenttitekniikan  
laboratorio

Viltec Oy

## OSALLISTUJAT

|                     |   |
|---------------------|---|
| Hari, Pertti        | Metla / MAT                             |
| Hassi, Olli         | Suomen Maastokuva Oy / Maa ja Vesi Oy   |
| Havu, Seppo         | Maa- ja metsätalousministeriö           |
| Heikurainen, Matti  | Maa- ja metsätalousministeriö           |
| Hokkanen, Hannu     | Enso-Gutzeit Oy                         |
| Häggman, Bjarne     | KML Tapio                               |
| Häme, Tuomas        | VTT / Instrumenttitekniikan lab.        |
| Härmä, Pekka        | Helsingin yliopisto / Metsänarv. laitos |
| Ihalainen, Antti    | Metla / ARI                             |
| Kainulainen, Tapio  | KML Tapio                               |
| Kanninen, Markku    | Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö     |
| Kaurinkoski, Samuel | Suomen Metsäteollisuuden keskusliitto   |
| Kilkki, Pekka       | Metla / ARI                             |
| Korpelainen, Heikki | Maa ja Vesi Oy                          |
| Kuittinen, Risto    | VTT / Instrumenttitekniikan lab.        |
| Kuusela, Kullervo   | Jaakko Pöyry Oy                         |
| Kyytsönen, Jouko    | Maaseudun Tulevaisuus                   |
| Laamanen, Risto     | Finnmap Oy                              |
| Luukkonen, Heikki   | Finnmap Oy                              |
| Mattila, Eero       | Metla / Rovaniemi                       |
| Melvasalo, Mauno    | Suomen Metsänhoitajaliitto              |
| Mikkola, Aaro       | Maanmittaushallitus                     |
| Muinonen, Eero      | Joensuun yliopisto                      |
| Mustanoja, Kari     | Ekono Oy                                |
| Määttä, Matti       | Metsähallitus                           |
| Niemelä, Hannu      | KML Tapio                               |
| Paavilainen, Jussi  | Maanmittaushallitus                     |
| Pesonen, Jukka      | VTT                                     |
| Poso, Simo          | Helsingin yliopisto / Metsänarv. laitos |
| Pylkkö, Pentti      | Karelsilva Oy                           |
| Pöntinen, Jukka     | Metla / MAT                             |
| Ritari, Aulis       | Metla / Rovaniemi                       |
| Saatsi, Asko        | Metsähallitus                           |
| Salminen, Sakari    | Metla / ARI                             |
| Suutarla, Tapio     | Tehdaspuu Oy                            |
| Tokola, Timo        | Joensuun yliopisto                      |
| Vajavaara, Raimo    | Maa- ja metsätalousministeriö           |
| Veijalainen, Pertti | Jaakko Pöyry Oy                         |
| Vesterlin, Veijo    | KML Tapio                               |
| Ylinen, Jarmo       | Ekono Oy                                |











ISBN 951-40-1026-4  
ISSN 0358-4283

Helsinki 1988. Valtion painatuskeskus