

## Kaukokartoituksen ympäristösovellukset: suotyypien erottaminen pintalämpötilojen perusteella

Environmental applications of remote sensing methods: discriminating mire site types by surface temperatures

Timo-Pekka Juvonen, Mikko Ojanen, Juha T. Tantt & Jarmo Rosnell

*Timo-Pekka Juvonen, University of Turku, Satakunta Environmental Research Centre, Reposaari, FIN-28900 Pori, Finland (e-mail: tjuvonen@utu.fi)*

*Mikko Ojanen, University of Turku, Satakunta Environmental Research Centre, Reposaari, FIN-28900 Pori, Finland*

*Juha T. Tantt, Tampere University of Technology, Information Technology, Pori, P. O. Box 30, FIN-28601 Pori, Finland*

*Jarmo Rosnell, NOKIA Telecommunications, P. O. Box 759, FIN-33101 Tampere, Finland*

Remote sensing methods used together with the Geographical Information Systems (GIS) open new possibilities also in vegetation area studies. In this paper we apply these methods to discriminate mire site types. We studied surface temperatures in Isoneva mire, western Finland (60°40'N, 21°59'E), using Thermal Infrared (TIR)-images. The vegetation composition data were based on previous field studies. Surface temperature samples for four different mire site types and one upland forest site type were taken, and the distributions of their surface temperatures were analyzed. The results indicate that there are discernible surface temperature differences between different vegetation types.

Key words: GIS, Remote sensing, surface temperature, Thermal IR, vegetation areas

### JOHDANTO

Nykyaikainen kaukokartoitus on sopiva menetelmä tutkia laaja-alaisia biologisia ja maantieteellisiä ilmiöitä. Paikkatietojärjestelmien (GIS; Geographical Information Systems) avulla voidaan hyödyntää erilaisia digitaalisia aineistoja yhdessä kaukokartoitusaineistojen kanssa ja näin löytää lisää mahdollisuuksia tutkia ympäristöämme uusista näkökulmista. Terminen infrapunakuvaus mittaa kohteesta emittoituvaa pitkäaaltoista lämpösäteilyä ja poikkeaa ominaisuuksiltaan selvästi

niistä aallonpituuksista, joita ilmakuvauksissa on perinteisesti käytetty. Kaukokartoitusmenetelmänä tätä on aiemmin hyödynnetty lähinnä karkean erottelukyvyn sääsatelliiteissa. Lentokonekuvauksiin perustuva pintalämpötilojen tutkimusmenetelmä laajentaa menetelmäkenttää bio- ja geotieteiden tutkimusongelmissa.

Suoympäristöt ovat hyviä kohteita menetelmän tutkimiseen. Suot sisältävät erilaisia habitattityyppejä, joilla on tärkeä merkitys lajirikkauden ylläpitäjänä. Suomen suopinta-ala ennen laajamittaisen ojitustoiminnan alkua oli 9,7 miljoonaa heh-

taaria eli 31,9% maa-alasta (Ilvessalo 1960). Koko maapallon suoalan on arvioitu olevan 422 miljoonaa hehtaaria (Kivinen & Pakarinen 1981). Satelliittikuvatulkinnassa soiden erottamiseen muista kasvillisuusalueista, esim kangasmaista, sisältyy helposti virheluokittelua (Pellikka 1996, Kalliola & Syrjänen 1991, Lahti & Häme 1992). Varsinaikan suokasvillisuuden ja sitä kautta suotyyppien määrittely kaukokartoituksen keinoin ei ole yksiselitteistä ja helppoa. Kuvan resoluutio voi olla liian karkea tai havainnoiva instrumentti ei ole tarpeeksi herkkä säteilyintensiteettien erotteluun. Satelliittikuvien erotuskyky ei ole vielä riittänyt suotyyppien eikä suokasvillisuuden luokitteluun. Uudet korkearesoluution satelliittikuvat tuovat tarvittavaa lisätarkkuutta luokitteluun.

Lentokoneesta tapahtuva kuvaus on tällä hetkellä soveliaain kaukokartoitustekniikka suoympäristöjen tutkimiseen. Ilmakuvatulkinnasta saatu tietotaito voidaan jatkossa siirtää koskemaan myös satelliittikuvatulkintaa. Ilmakuvia voidaan käyttää ympäristökartoituksessa samoin kuin satelliittikuvia. Menetelmiä erottavana tekijänä on instrumentin ominaisuudet, esim. erotuskyky, ei niinkään varsinaiseen tulkintaan käytetyt menetelmät. Ilmakuvia ovat käyttäneet suotyyppien selvittämiseen mm. Laine (1983), Rafstedt ja Andersson (1981) sekä Lauhanen ym. (1995). Ilmakuvista tapahtuva suotyyppien määrittely perustuu pitkälti puulajien runsaussuhteiden erottamiseen ja tulkinta onnistuu kohtalaisesti (Laine 1983). Yksittäisten suotyyppien tunnistaminen ei kuitenkaan ole ongelmaton (Lauhanen ym. 1995). Puuston tihentyessä tulkinta vaikeutuu ja tulosten luotettavuus heikkenee. Lahti ja Häme (1992) ovat todenneet lentokuvasta gammasäteilykuvasta olevan apua suon ja kivennäismaan erottelussa kun sitä käytetään yhdessä satelliittikuvan kanssa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää niitä ongelmia, joita liittyy suotyyppien luokitteluun termisen infrapunakuvan avulla. Ajatuksena oli pintalämpötilavaihteluiden kuvaaminen sellaisella suolla, josta on olemassa yksityiskohtainen kasvillisuuskarttoitus. Lisäksi jouduttiin ratkaisemaan kysymyksiä, jotka liittyvät lämpökamerakuvaukseen sekä lämpökuvan muokkaamiseen paikatieto-ohjelman hyödynnettäväksi. Oleellisena ongelmana oli myöskin aineistojen saaminen sijaintitarkkaan karttakoordinaatistoon, jotta alueellinen analyysi olisi mahdollista. Tulkintavaiheessa

selvitettiin, miten eri suotyyppit voidaan erottaa toisistaan pintalämpötilojensa perusteella. Vertailualueeksi otettiin yksi puolukkatyyppin (VT) metsikkö.

## AINEISTO JA MENETELMÄT

### Tutkimusalue

#### *Sijainti*

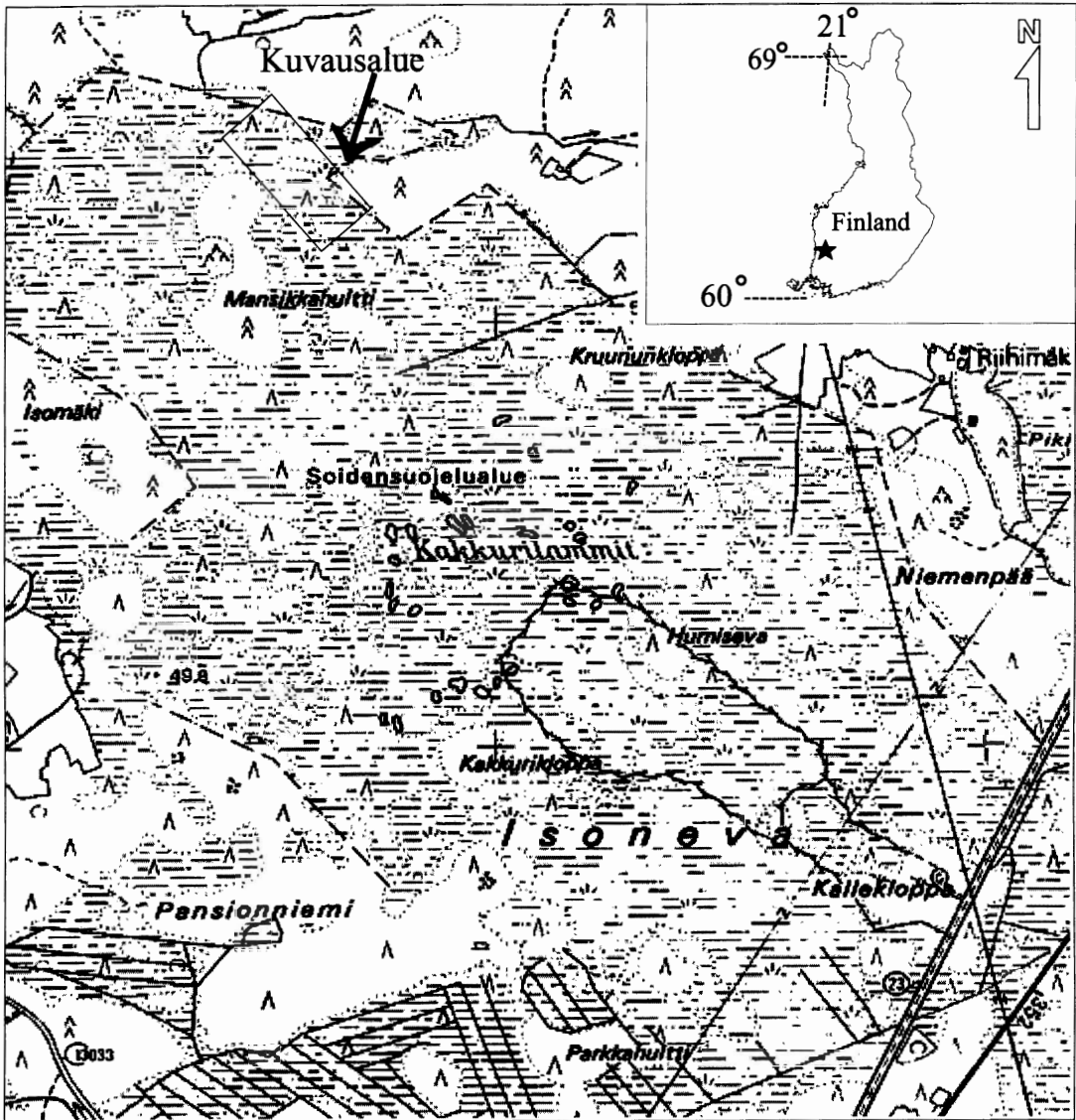
Pomarkun Isoneva (60°40'N, 21°59'E) sijaitsee Pohjois-Satakunnassa 25 kilometriä Porista koilliseen, Pori–Kankaanpää-valtatien molemmin puolin (Kuva 1). Isoneva kuuluu soidensuojelualueeseen. Kasvillisuuskartasta arvioitu yhtenäisen suoalue kattaa noin 890 hehtaaria (Rajasärkkä 1988). Suojelualueen sisällä oleva maa-alue on pääosin suota, vain pieniä kivennäismaasaarekkeita esiintyy muutamassa kohdin.

#### *Ilmasto ja kallioperä*

Lähin ilmastoasema sijaitsee Porin lentoasemalla. Aikajaksolla 1961–1990 vuoden keskilämpötila oli Porissa 4,3°C. Helmikuun keskilämpötila oli –6,6°C ja heinäkuun 16,0°C. Keskimääräinen sademäärä vuoden aikana on 537 millimetriä ja lumipeitteen paksuus 15.2. on keskimäärin 27 senttimetriä. Isonevan sijainti 20 kilometriä rannikosta itään vähentää meren vaikutusta ja tekee sen ilmaston mantereisemmäksi kuin Porissa. Porin arvoihin verrattuna Pomarkun lumipeite on selvästi paksumpi, vuoden keskilämpötila on hieman alempi ja sademäärä suurempi (Rajasärkkä 1988).

Isonevan alapuolinen kallioperä on tasarakeista graniittia. Suon pohjoisosissa kivilaji muuttuu kiillegneissiksi (Sederholm 1913). Koko kallioperä on vanhaa silikaattipitoista kiveä, joka ei vaikuta kasvillisuuteen rehevöittävästi (Rajasärkkä 1988).

Suon tasaisesta topografiasta kohoaa muutamia kivennäismaasaarekkeita, joiden korkeus suon pinnasta on yhdestä metristä kymmeneen metriin. Alueen korkein kohta on Mansikkahultin laki, joka on hieman yli 60 metrin korkeudessa. Isonevan korkeus merenpinnasta on noin 50 metriä. Länsiosat ovat korkeudella 49–52 metriä ja itäosat välillä 51–54 metriä (Rajasärkkä 1988).



Kuva 1. Tutkimusalue. © Maanmittauslaitos, lupa 167/MAR/97.

Fig. 1. Location of the study area.

### Kasvillisuus

Tutkimusalueen kasvillisuustiedot perustuvat Metsähallituksen teettämään kasvillisuuskartoitukseen (Rajasärkkä 1988). Kartoituksessa Rajasärkkä on noudattanut pääsääntöisesti Heikkisen ja Leivon (1983) ohjeita, jotka on laadittu lähinnä metsätalouden tarkastuksen yhteydessä tehtävään kasvillisuuden kartoitukseen. Kenttätyöt Rajasärkkä on tehnyt kesällä 1984.

Isonneva on sadeveden varassa elävä (ombrotrofinen) karu keidassuo. Suoluontoon ja sen vesitalouteen ovat merkittävimmin vaikuttaneet maanja rautateiden rakentaminen suon poikki. Muuten suoalue on saanut olla varsin rauhassa. 1860-luvulla Isonnevalle kaivettiin muutamia isoja ojia, mutta ne eivät kuivattaneet suota. Nykyisin ojat ovat umpeutuneet ja ne erottuvat ympäristöstä lähinnä märkyytensä ansiosta. Pienet metsäsaarekkeet ovat säilyneet lähes luonnontilaisina, mutta

suuremmat ovat hakattuja ja ovat nyt eri-ikäisiä taimikoita. Pomarkun Isonivan kasvillisuus on tyypillistä Etelä-Suomen ja Satakunnan keidassoiden kasvillisuutta. Ombrotrofiset neva- ja rämelaajit antavat kasvistolle leimallisen piirteen. Yleisimmät rahkasammallajit ovat mättäillä ruskorahkasammal (*Sphagnum fuscum*; rahkasammalten nimet Isoviidan 1966 mukaan), välikköpinnoilla jokasuonrahkasammal (*S. angustifolium*) ja kuljuissa silmäke- ja kuljurahkasammal (*S. balticum* ja *S. cuspidatum*). Tyypillisimmät putkilokasvit tutkimusalueella ovat tupasvilla, muurain, suokukka, leväkkö ja isot suovarvut. Valtapuuna on mänty (Rajasärkkä 1988).

Ohutturpeisilla alueilla on runsaammin suursaroja, jotka ovat minerotrofian ilmentäjiä. Alueelta on löydetty nevarahkasammalta (*S. fallax*). Minerotrofisimmat nevarämeet ovat kalvakka- ja paakkurahkasammalien (*S. papillosum* ja *S. compactum*) kasvustoa. Monet minerotrofian ilmentäjinä tunnetut lajit, kuten valkopiirtoheinä, kalvakka- ja paakkurahkasammal, kasvavat Isonevalla myöskin ombrotrofisilla alueilla. Länsi-Suomessa kyseiset lajit ovat indifferenttejä, toisin kuin Suomen itäosissa, jossa ne ovat puhtaasti minerotrofian ilmentäjiä (Aartolahti 1965). Tämä johtuu Länsi-Suomen merellisemmästä ilmastosta ja sen aiheuttamasta sadeveden korkeammista ravinnepitoisuuksista Itä-Suomeen verrattuna (Rajasärkkä 1988). Vaateliainta lajistoa alueella edustavat pienialaisissa korvissa tai luhtaisilla paikoilla kasvavat kurjenjalka, luhtakuusio, suoputki, järvi-, suoja metsäkorte, hiirenporras, karhunputki, lillukka, ranta-alpi, korpikaisla ja leveösmanikämi (Rajasärkkä 1988).

## Lämpökamerakuvaus

Tutkimuksessa käytetyt lämpökamerakuvat ovat Isonivan ylittäneeltä kuvauslennolta 27.7.1994 kello 14.50. Sää kuvauspäivänä oli helteinen ja selkeä. Lento suoritettiin nelipaikkaisella Cessna pienkoneella, josta maanpintaa kuvattiin avoimesta ikkunasta peililaitteiston avulla. Lämpökamera oli Satakunnan ammattikorkeakoulun Infra-merics 600 kamera, jonka ominaisuudet ovat seuraavat:

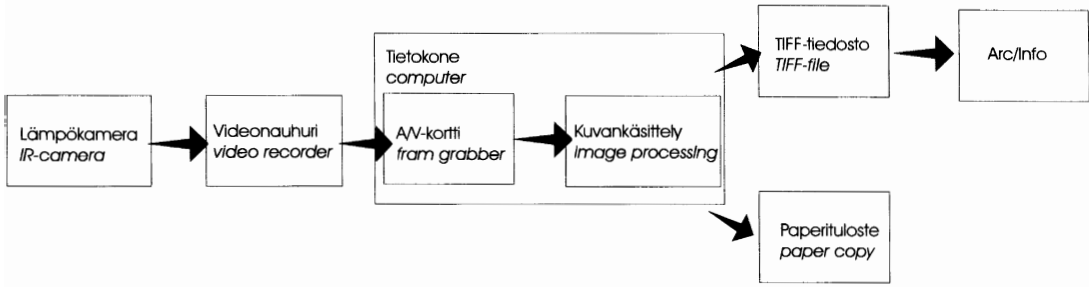
- nimellinen toiminta-alue 8–12  $\mu\text{m}$
- pistelämpötilan näyttö

- pinta-alan keskilämpötilan näyttö
- isoterminäyttö
- HgCdTe-ilmaisim
- lämpötila-alueet 5, 10, 20, 50, 100 ja 200°C
- lämpötila-alueet laajennetulla alueella 50, 100, 200, 500 ja 1 000°C
- keskilämpötilan asetus 0–400°C
- keskilämpötilan asetus laajennetulla alueella 0–1 000°C
- lämpötilan näyttö kolmella numerolla
- herkkyys 0,1°C
- käyttölämpötila – 20–+ 50°C

Kuvauskorkeus oli hieman yli 100 metriä ja kuvan mittakaava noin 1:660. Lentokorkeudesta johtuen kuva-alue on kapea, mutta alueellinen erotuskyky varsin hyvä pikselikoon ollessa noin 0,4 metriä. Kohteiden tunnistaminen ja paikantaminen varmennettiin kuvaamalla lämpökameran kuvauskohteet myös tavallisella videokameralla.

Lämpökamerakuvaustiedot tallentuivat lentokoneessa normaalille VHS-kasetille, josta jälkepäin kuvankäsittelylaboratoriossa tallennettiin videokortin avulla yksittäisiä pysäytyskuvia kuvatieostoiksi. Lämpökamerakuva on 8 bitin harmaasävykuva, jossa yhdellä kuvapisteellä voi olla sävystä riippuen arvo välillä 0–255 täysin mustan pisteen arvon ollessa 0 ja valkoisen 255. Pintalämpötilajakaumassa musta kuvastaa kylmintä arvoa ja vastaavasti valkoinen lämpimintä. Tässä tutkimuksessa esitetyt arvot ovat näitä yksittäisten pikselien saamia harmaasävyn lukuarvoja, jotka kertovat kohteen suhteellisen pintalämpötilan.

Kuvankäsittelyohjelmassa muodostettiin videokuvista tallennetuista yksittäiskuvista kuvamosaiikki niin, että vierekkäiset kuvat menivät 30–50% toistensa päälle. Tämä yhdistely tehtiin visuaalisesti. Jokaiselta kuvalta haettiin samoja tunnistettavia maastokohteita, joiden avulla yksittäiset kuvat liitettiin toisiinsa. Tämän jälkeen kuvamosaiikki vietiin Arc/Info GIS-ohjelmistoon (ESRI 1994), jossa se liitettiin karttakoordinaatioon ja oikaistiin affiinisella muunnoksella. Tunnistuspisteinä olivat ojen risteykset ja taitepisteet, rajalinjat sekä maaston kuviointi, joiden sijainti mitattiin differentiaalikorjaimella varustetulla GPS-laitteella (Silva XL 1000). Kuvan oikaisussa hyödynsimme myös ilmakuvamateriaalia. Kuvan oikaisu muuttaa pikselien sijaintia ja tämän vuoksi suoritettiin pikselien harmaasävyarvojen interpolointi. Harmaasävyn interpoloinnissa käytettiin



Kuva 2. Lämpökamerakuvan käsittelyvaiheet.

Fig. 2. The stages of the thermal image processing.

kuutiokonvoluutiota, jolloin kukin pikseli saa arvonsa 4\*4-naapurustopikselien avulla. Tällöin interpolointivirhe on pienempi kuin käytettäessä lähimmän naapurin interpolointia tai bilineaarista interpolointia (Mather 1987). Tämän jälkeen kuva-aineisto muutettiin paikkatieto-ohjelman rasteripohjaisia aineistoja käsittelevän grid-modulin tiedostoksi (Kuva 2).

Isonevan suotyypitiedot (Rajasärkkä 1988) digitointiin Arc/Info-ohjelmistoon mittakaavassa 1:10 000 suotyypin tunnistamiseksi lämpökuvaa alueelta (suotyypin nimet on tarvittaessa muutettu vastaamaan Laineen & Vasanderin 1990 käyttämiä). Paikkatieto-ohjelma mahdollistaa ominaisuus- ja sijaintitietojen yhdistelyn joustavasti erilaisten karttatasotiedostojen välillä. Tällöin voitiin tietokoneavusteisesti tarkastella samanaikaisesti sekä tutkimusalueemme pintalämpötila-aineistoa että sen kasvillisuutta.

Eri suotyyppejä edustavien kasviyhdyksuntien kohdalta leikattiin otoksiksi lämpökamerakuvapalat. Ennen otostamista suotyypin rajoille sekä ojan ympärille rajattiin 10 metrin suojavaiohykkeet. Tällä pyrittiin välttämään kohdistuksessa eri suotyyppejä edustavien kasviyhdyksuntien rajoilla esiintyvää vaihtelua. Analysoitavalle kuva-alueelle ei myöskään saanut osua aluetta halkova umpeenkasvanut ojalinja tai siihen liittyvä reuna-alue. Tutkitut otokset kattoivat muuten koko samaksi suotyypiksi luokitellun alueen. Analyysiä varten kuvat pienennettiin mittakaavaan 1:3 100. Mittakaavariippumattomuus on osin näennäistä, koska sijaintitietojen tarkkuus on sidoksissa paikannukseen käytetyn kartan mittakaavaan. Paikannusmittakaavasta ja mittavirheistä aiheutuu sijaintitarkkuusvirhe, jonka suuruutta ei useinkaan tiedetä

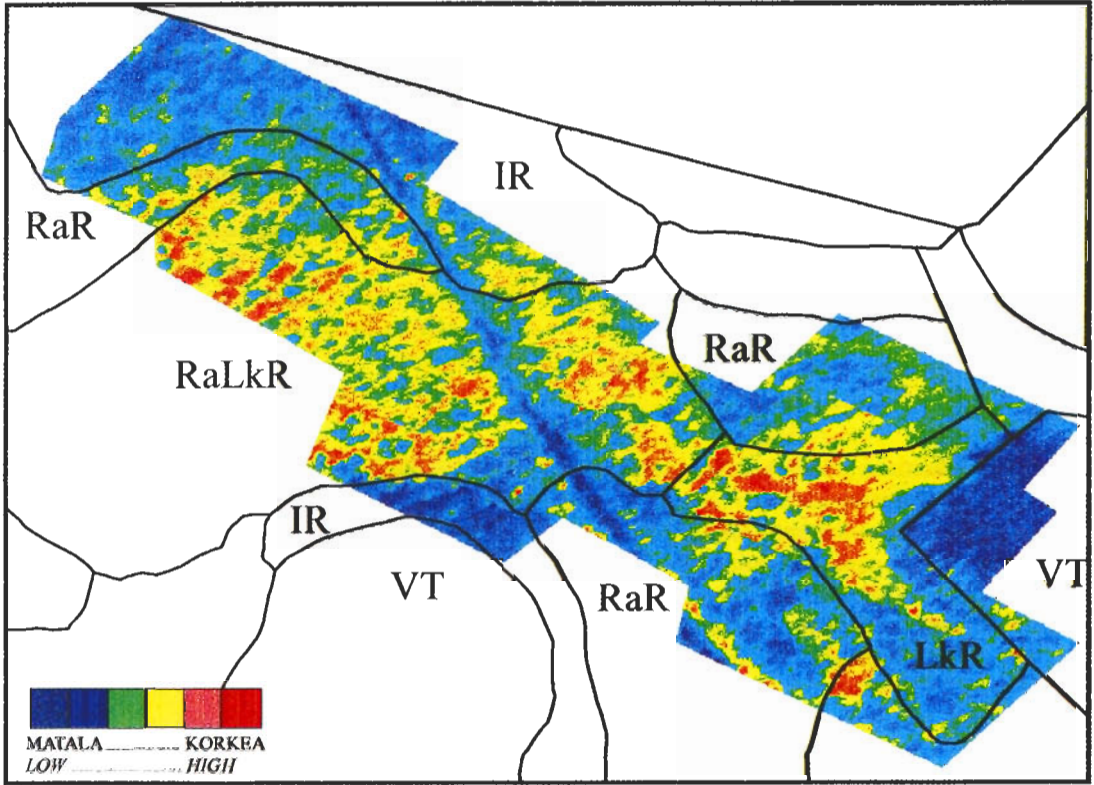
tai sitä ei ole ilmoitettu sijaintitietojen yhteydessä (Blom 1995). GPS-laitteen tarkkuudesta ja peruskartalta tapahtuvasta mittausvirheestä johtuen kesän 1994 lentokuvan kohdistuksen tarkkuus on noin  $\pm 10$  metriä. Vastaavan suuruinen virhe voi sisältyä myös kasvillisuuskartan piirtämiseen sekä kartan kohdistamiseen koordinaatistossa.

Kunkin tutkitun kasviyhdyksunnan suhteelliselle pintalämpötiloille laskettiin keskiarvot, keskihajonnat, minimi ja maksimit sekä spatiaalinen autokorrelaatio (Taulukko 1). Autokorrelaation kuvaamiseen käytimme Arc/Info-ohjelman Mo-

Taulukko 1. Pomarkun Isonevan eri kasvupaikkatyyppiejä edustavien kasviyhdyksuntien intensiteetti- ja tunnusluvut: ka = keskiarvo, sd = keskihajonta, I = Moranin spatiaalinen autokorrelaatio. Kasvupaikkatyyppien lyhenteet: VT = puolukka-tyypin kuivahko kangas, IR = isovarpuräme, RaR = rahkaräme, LkR = lyhytkorsiräme, RaLkR = rahkamättäinen lyhytkorsiräme.

Table 1. Intensity values of selected site types in the Isoneva mire: ka = mean, sd = standard deviation, I = Moran's spatial autocorrelation. Site type abbreviations: VT = Vaccinium vitis-idaea type upland forest, IR = dwarf shrub pine bog, RaR = Sphagnum fuscum pine bog, LkR = low-sedge Sphagnum papillosum pine fen, RaLkR = low-sedge Sphagnum papillosum pine fen with S. fuscum hummocks.

|           | ka    | sd   | min | max | I    |
|-----------|-------|------|-----|-----|------|
| VT        | 84,7  | 2,8  | 74  | 96  | 0,41 |
| IR        | 96,8  | 8,2  | 79  | 136 | 0,85 |
| RaR (1)   | 104,6 | 12,9 | 78  | 142 | 0,91 |
| RaR (2)   | 109,0 | 10,0 | 80  | 141 | 0,93 |
| LkR       | 120,0 | 17,0 | 80  | 152 | 0,95 |
| RaLkR (1) | 122,0 | 11,1 | 84  | 162 | 0,86 |
| RaLkR (2) | 125,0 | 10,8 | 82  | 167 | 0,87 |



Kuva 3. Isonevan suhteellisen pintalämpötilan vaihtelu.

Fig. 3. Relative surface temperatures in the Isoneva mire.

ran-indeksiä (I), joka mittaa kohteen samankaltaisuutta seuraavasti (ESRI 1994):

$I > 0$  aineisto samanlaista, tasaisesti vaihtuvaa ja alueellista.

$I = 0$  aineisto riippumaton, korreloimaton ja satunnainen

$I < 0$  aineisto erilainen, kontrastinen ja shakkilautamainen.

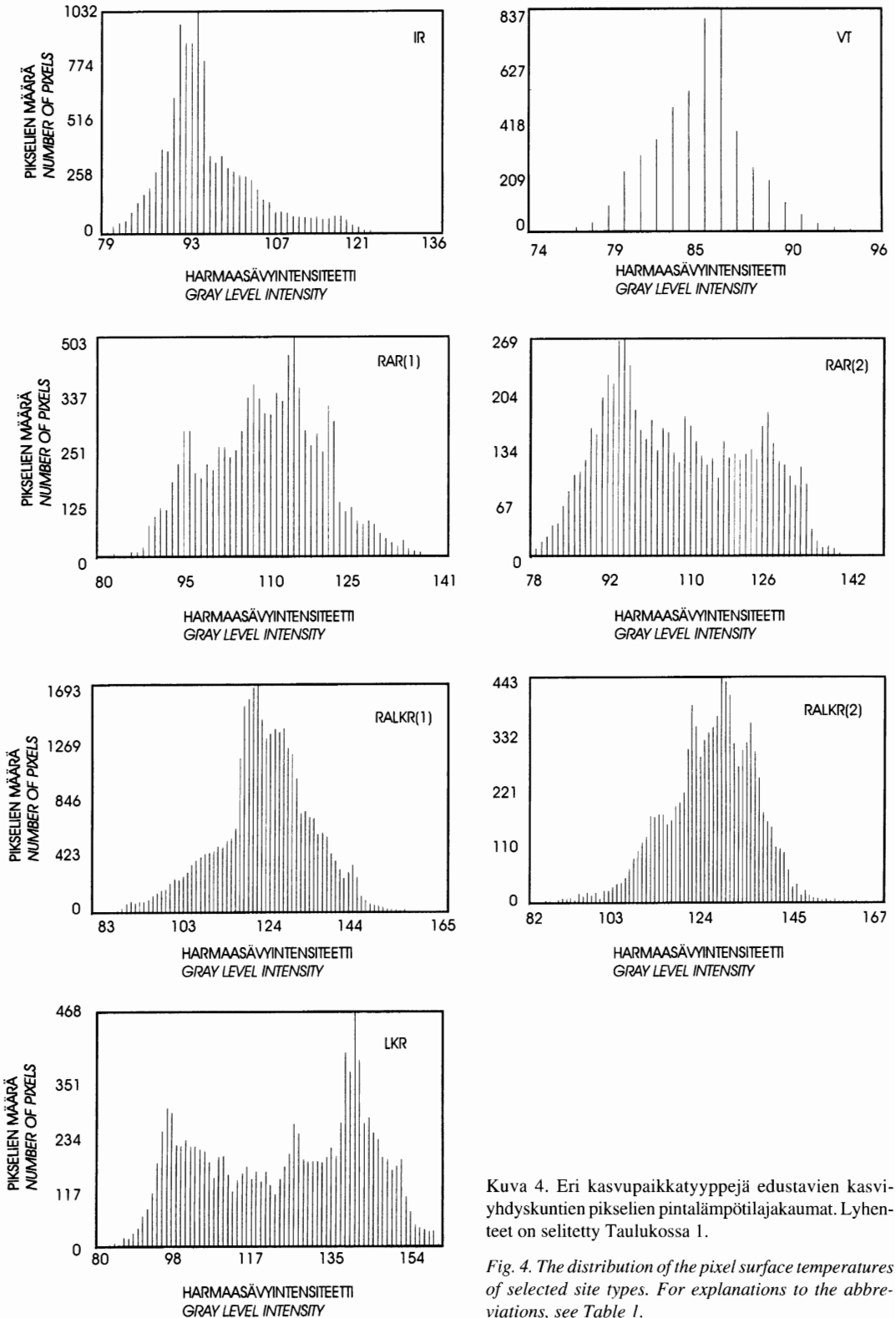
## TULOKSET

### Pintalämpötilaolosuhteet

Kuvassa 3 on esitetty eri kasviyhdykskuntien suhteelliset pintalämpötilat. Kuvausalueen läpi kulkeva täysin umpeenkasvanut ojalinja 1860-luvulta sekä metsäalueet näkyvät varsin selvästi ympäristöään viileämpinä alueina.

Kasvillisuudessa olevia eroja tulkittiin otostettujen kasviyhdykskuntien pintalämpötiloja kuvaavien tunnuslukujen (Taulukko 1), visuaalisen tarkastelun (Kuva 3) sekä otosten sisältämien pikselien pintalämpötilahistogrammien muodon (Kuva 4) perusteella.

Rahkarämeelle (RaR; suotyypikuvaukset Laineen & Vasanderin 1990 mukaan) on tyypillistä harvahko kitukasvuinen mäntypuusto. Varvuisista ovat tyypillisiä kanerva ja variksenmarja. Ruohoista esiintyy muurainta ja tupasvillaa. Ruskorahkasammal muodostaa yhtenäisen patjan, jossa etenkin kanervakasvustossa voi olla myös poronjäkälää. Turve on maatumatonta rahkaturvetta, jossa voi olla varpujen ja tupasvillan jäännöksiä. Rahkarämeestä on kaksi eri pintalämpötilaa ja suhteelliset pintalämpötilan keskiarvot ovat 105 ja 109 yksikköä (Taulukko 1). Pintalämpötilojen vaihtelevuus johtuu yllä esitetystä kasvillisuuden



Kuva 4. Eri kasvupaikkatyyppiä edustavien kasvinyhdyskuntien pikselien pintalämpötilajakaumat. Lyhenteet on selitetty Taulukossa 1.

Fig. 4. The distribution of the pixel surface temperatures of selected site types. For explanations to the abbreviations, see Table 1.

vaihtelusta. Puuston tiheytyessä latvuskerros antaa yhtenäisemmän peitteen ja pintalämpötilat tasaantuvat ja laskevat. Kuvassa 3 tämä näkyy selvästi, kun suo muuttuu metsäisemmäksi soidensuojelualueen rajalla. Rahkarämeen monihuippuinen histogrammijakauma on esitetty Kuvassa 4.

Välivaiheena rahkarämeestä metsäksi on tutkimusalueellamme isovarpuräme (IR). Tällä kasvillisuusvyöhykkeellä suhteellisten pintalämpötilojen keskiarvo on pienempi kuin muiden suotyyppien (Taulukko 1). Isovarpurämeen puusto on harvahkoa, mutta osin jopa pienen tukkipuun mitat saavuttavaa mäntyä. Kenttäkerroksessa ovat tyyppillisiä rämevarvut, kuten juolukka, suopursu, kannerva sekä vaivaiskoivu. Sammalkerros on yhtenäinen ja rahkasammalten vallitseva. Punarahkasammal ja varvikkorahkasammal ovat yleisiä. Myös ruskorahkasammalta ja seinäsammalta esiintyy. Turve on pinnalta melko maatumatonta puurahkaturvetta. Tutkimusalueellamme isovarpuräme kuvastuu viileimpänä suoalueena. Syynä tähän on mahdollisesti suhteellisen kookkaan puuston latvuskerroksen pintalämpötilaa laskeva vaikutus. Osa kamerakuvassa näkyvästä lämpötilasta kuvaakin tutkitun alueen puiden latvusten pintalämpötilaa, eikä varsinaisen kenttäkerroksen pintalämpötilaa. Puiden varjot ovat myöskin ympäristöään viileämpiä. Isovarpurämeen histogrammista (Kuva 4) voi nähdä runsaan puuston aiheuttavan matalien pintalämpötilojen korostumisen.

Lyhytkorsirämeet (LkR) ovat lyhytkortisten nevojen ja tupasvillarämeen välimuotoja. Rämeosat ovat matalaa ja harvahkoa mäntyä kasvavaa rahkaista tupasvillarämettä tai rahkarämettä. Laajahkot välikköpinnat ovat minerotrofista lyhytkorsikalvakkanevaa. Ruskorahkasammalten ollessa erittäin runsas on kyseessä rahkainen lyhytkorsiräme (RaLkR). Lyhytkorsirämeelle osuva lämpökuvaa näyttää melko korkean pintalämpötilan (Kuva 3). Tämä johtuu siitä että suotyyppi on vähäpuustoisin. Ruskorahkasammalmättäistö pääsee lämpiämään auringonpaisteissa voimakkaasti. Kosteamat välikköpinnat ovat viileämpiä ja antavat kuvalle mosaiikkimaisen luonteen ja lisäävät keskiahjontaa.

Suotyyppien lisäksi tutkimuksessa oli mukana puolukkatyyppin metsä (VT). Metsäalue on pintalämpötilaltaan selvästi viilein (Taulukko 1). Metsäalueen pintalämpötilojen intensiteettijakauma on huipukas. Entinen umpeenkasvanut oja erottuu

pintalämpötilallisesti hyvin selvästi ympäristöään kylmempänä. Vanha ojakohta on vetinen ja viileä, kuivat penkat puolestaan lämpimiä, jolloin lämpötilakontrasti on selkeä.

Kasvupaikkatyyppien tunnuslukuja vertailtaessa voidaan myös huomata pintalämpötilojen keskiarvojen kohoavan siirryttäessä kohti kosteampaa ja vähäpuustoisempaa kasvillisuus-  
aluetta.

Spatiaaliset autokorrelaatiokertoimet on esitetty Taulukossa 1. Tutkitut otokset ovat positiivisesti autokorreloituineita, jolloin otoksen sisäiset pikselit ovat samankaltaisia suhteessa naapuripikseliinsä.

## TULKINTA

Termisen infrapunan avulla määritetty pintalämpötila riippuu pintojen lämpöemissiosta, joka on emittoituneen säteilyn suhde mustan kappaleen säteilyyn samassa lämpötilassa (Lillesand & Kieffer 1994). Lämpökamera mittaa kohteesta tulevaa säteilyintensiteettiä. Stefan-Boltzmanin lain määrittelemästä mustan kappaleen säteilyintensiteetistä voidaan johtaa ns. harmaan kappaleen säteilyintensiteettiyltälö:

$$M = \epsilon \delta T^4 \quad (1),$$

jossa

M = kokonaissäteily

$\delta$  = Stefan-Boltzmanin vakio,  $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

$\epsilon$  = harmaan kappaleen emissiokerroin

T = mustan kappaleen lämpötila, K.

Tästä johtuen kohteen emissiokertoimen määrittely pintalämpökuvauksessa on tärkeää (esim. Gustafsson & Bogren 1991, Kahle & Alley 1992, Salisbury & D' Aria 1992, Norman ym. 1995 sekä Van de Griend & Owe 1993, Lillesand & Kieffer 1994). Erilaiset materiaalit, kuten esimerkiksi kasvipeite, maaperä tai vesistö, omaavat erilaisen emissiokertoimen. Emissio voi myös vaihdella merkittävästi johtuen eroista maaperän rakenteessa, maaperän koostumuksessa, orgaanisen aineksen määrästä, kosteusvaihtelusta sekä myöskin eroista peittävän kasvillisuuden ominaisuuksissa (Van de Griend & Owe 1993). Kohteen pintalämpötila mittaautuu materiaalin pinnan ensimmäisten mikrometrien syvyydeltä, jolloin esim. voimakas



haihtuminen aiheuttaa todellista matalammat pintalämpötilatulokset. Gustafsson ja Bogrenin (1991) mukaan tunnettujen kohteiden emissioarvot voidaan ottaa valmiista taulukoista ja käsikirjoista. Valitsimme emissiokertoimeksi 0,97, joka sijoittuu lähelle luonnonmateriaalien keskimääräistä emissioarvoa (esim. Taylor 1979, Van de Griend & Owe 1993 sekä Salisbury & D'Aria 1992). Lämpökamerakuvatulkintamme suon pintalämpötilojen eroavaisuuksista perustui tälle emissioarvolle.

Satelliittikuvauksesta poiketen lentokoneesta tehtävä termisen lämpötilan mittausta tapahtuu matalalta ja pienen kuva-alamme johdosta lähes samanaikaisesti. Tällöin ilmakehän ominaisuuksien vaihtelut kuvamme eri osissa lienevät vähäiset. Kasvillisuuden ja vesipintojen emissio-ominaisuuksista johtuen TIR-kuvan käyttämällä aallonpituusalueella mitataan pitkäaaltoista, maastosta emittoituvaa säteilyintensiteettiä, eikä suoraan maastosta heijastuvaa auringon säteilyä. Tämän vuoksi auringon aseman merkitys kuvassa on vähäinen. Suo on tasaisen topografian takia hyvä kaukokartoituskohde, koska maastonmuotojen aiheuttama vääristymä kuvan geometriassa on pieni.

Tapauskohtaisia emissio-ominaisuuksia tuntematta ei tutkimuksen tässä vaiheessa voida vielä erotella kasvillisuuden pintalämpötilaan vaikuttavia tekijöitä. Tulkinta perustuu valitun emissiokertoimen antamaan kokonaiskuvaan, joka näyttää kertovan myös vallitsevista kasvillisuusolosuhteista.

Huomioon otettava seikka on myöskin käytetyn kasvillisuuskartoituksen soveltuminen alueen testaukseen. Lämpökuvan antama informaatio on hyvin pienipiirteistä eikä kasvillisuuskartoituksen tarkkuus välttämättä riitä yksityiskohtien testaamiseen. Esimerkiksi muusta alueesta poikkeava viileäkö osa-alue lyhytkorsirämeellä ei välttämättä edustakaan lyhytkorsirämettä, vaan aivan muuta suotyyppiä. Tarkemmat maastotyöt ja kuva-analyysit ovat tulevaisuudessa tarpeen.

## YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tutkimuksemme antaa informaatiota lämpökameran hyödyntämismahdollisuuksista ympäristötutkimuksessa. Uusien kaukokartoitussovellusten en-

nakkoluuloton ja kriittinen kokeilu ympäristömme havainnointiin ja analysointiin on tärkeitä kehitystyötä kyseiselle tutkimusalalle. Monesti on todettu ettei kaukokartoitus korvaa maastotöitä, mutta se tuo merkittäviä kustannussäästöjä. Tutkimuksellisesti on tietysti tärkeintä se, että voidaan ottaa kokonaan uudet tutkimusongelmat aktiivisen selvityksen piiriin. Laajoja maa-alueita koskevien ilmiöiden selvittäminen ei ole mahdollista pelkkien maastohavaintojen avulla.

Kasvillisuuden pintalämpötilojen estimointi kaukokartoituksen avulla on mahdollista vain jos kohteiden emissiivisyys on mahdollisimman vakio. Vakio emissiokerroin mahdollistaisi suhteellisten lämpötilaerojen havaitsemisen. Suuresta emissiivisyydestä puolestaan seuraa pieni heijastuskerroin, jolloin mitattu intensiteetti kertoo kohteen todellisen emission. Tällaisissa tilanteissa pääsemme lähelle tavoitetta tutkia laaja-alaisesti samanaikaisia ympäristöolosuhteita. Tulevaisuudessa olisikin erittäin tärkeää selvittää yksityiskohtaisemmin eri kasvupaikkatyyppien emissio-ominaisuuksia sekä mitata miten esimerkiksi kosteusmuutokset vaikuttavat niiden emissioarvoihin. Emissio on mahdollista selvittää kokeellisesti (Marshall 1981). Yksinkertainen menetelmä on käyttää referenssinä tunnettua emissiota ja tunnettua lämpötilaa. Muita tärkeitä lämpökuvaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat kuvaukskulman vaikutus emissioon sekä ympäristöstä heijastuva säteilylämpötila (Gustafsson & Bogren 1991).

Mielenkiintoista olisi myös selvittää erilaisten metsäkuvioiden latvuskerrosten pintalämpötiloja, mm. puulajisuhteen, puumäärien ja puuston kunnon suhteen sekä mahdollinen korrelaatio maaperän ravinteisuuden, kosteuden, lajistorunsauden tai -jakauman suhteen.

Tässä analysoitu lentokuva-alue oli pieni ja sen suotyyppivaihtelu melko vähäistä; esim. puutomia suotyypppejä ei ollut mukana. Uudistimme kuvauslennon elokuussa 1996. Nyt tarkoituksemme on jatkaa menetelmän testausta ja kehittelyä tällä uudella aineistolla.

Kamerakuvauksesta saatavan kuvamosaiikin automaattinen muodostus tavallisesta videokuvasta GPS-paikantimen ja oikaisulaskennanohjelman avulla on jo varsin pitkällä metsänhoidon ja metsäkartoituksen piirissä (Holm 1995). Menetelmä lie-nee sovellettavissa suoraan myös lämpökamera-aineiston käsittelyyn, jolloin lämpökuvasta voi-

taisiin käyttää tehokkaasti suurtenkin alueiden tutkimiseen.

## KIITOKSET

Dosentti Matti Lähdeniemi Satakunnan ammattikorkeakoulusta mahdollisti lämpökameran käytön tutkimuksessamme. Tutkija Simo Peltosen apu oli tarpeen ARC/INFO-ohjelman ongelmassa. Turun yliopiston maantieteen laitoksen tietokonekartografian laboratorio antoi hyvät puitteet kuvankäsittelyyn ja analysointiin. TEKES, Ulla Tuomisen, Emil Aaltonen ja Satakunnan korkean teknologian säätiöt tukivat tutkimushanketta rahallisesti. Esitämme kaikille parhaat kiitoksemme.

## KIRJALLISUUS

- Aartolahti, T. 1965. Oberflächenformen von Hochmooren und ihre Entwicklung in Südwest-Häme und Nord-Satakunta. *Fennia* 59: 1–268.
- Blom, T. 1995. Paikkatietojärjestelmien perusteet. Helsingin yliopiston Maantieteen laitoksen opetusmonisteita 37. Yliopistopaino, Helsinki. 89 pp.
- ESRI 1994. ARC/INFO, version 7.0.1. USA.
- Gustafsson, T. & Bogren, J. 1991. Infrared thermography in applied road climatological studies. *International Journal of Remote Sensing* 12: 1811–1828.
- Heikkinen, P. & Leivo, A. 1983. Luonnonsuojelualueiden kasvillisuuskarttoitus. Ohjeet metsähallituksen hallinnassa olevien suojelualueiden kasvillisuuden perusinventointia varten. Käsi kirjoitus, Metsähallitus, luonnonsuojelutoimisto. 20 pp.
- Holm, M. 1995. Global object reconstruction using airborne video imagery: the ESPRIT-III GLORE project. The SPIE Videometrics Conference 25–26.10.1995. Philadelphia SPIE Vol. 2598: 306–315.
- Ilvessalo, Y. 1960. Suomen metsät kartakkeiden valossa. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 52: 1–128.
- Isoviita, P. 1966. Studies on *Sphagnum* L. I. Nomenclatural revision of the European taxa. *Annales Botanici Fennici* 3: 199–264.
- Kahle, A. B. & Ronald, E. A. 1992. Separation of temperature and emittance in Remotely sensed radiance measurements. *Remote Sensing of Environment* 42: 107–111.
- Kalliola, R. & Syrjänen, K. 1990. Kaukokartoitus biologisessa tutkimuksessa (Summary: the use of remote sensing in biological research). *Luonnon Tutkija* 94: 156–164.
- Kivinen, E. & Pakarinen, P. 1981. Geographical distribution of peat resources and major peatland complex types in the world. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III* 132. 25 pp.
- Lahti, K. & Häme, T. 1992. Discrimination of peatland and mineral soil lands using multisource remote sensing data. In: *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. XVIIth Congress, Washington D.C.*, pp. 452–456.
- Laine, J. 1983. Ilmakuvatulokinta metsäojitusalueiden kunnon ja toimenpidetarpeiden arvioinnissa (Summary: Usability of airphoto interpretation in drained peatland forest surveys). *Suo* 34: 1–7.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. 80 pp.
- Lauhanen, R., Pietiläinen, P., Saarinen, M. & Heikkinen, E. 1995. Väri-infrakuvat kunnostusojituksen kohdevalinnan tukena (Summary: Usability of infrared imagery in the planning of ditch network maintenance). *Suo* 46: 21–30.
- Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. 1994. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. 750 pp.
- Marshall, S. J. 1981. We need to know more about infrared emissivity. *SPIE* 313: 119–127.
- Mather, P. M. 1987. Computer processing of Remotely sensed images. John Wiley & Sons. 352 pp.
- Norman, J. M., Divakarla, M. & Goel, N.S. 1995. Algorithms for extracting information from Remote Thermal-IR observations of the Earth's surface. *Remote Sensing of Environment* 51: 157–168.
- Pellikka, P. 1996. Ruutupohjainen maasto-GIS otantamenetelmä videokamerakuvan ja satelliittikuvan digitaalisen luokituksen luotettavuuden määrittämisessä (Summary: Accuracy assessment for land use classification using the grid and road based sampling method). *Terra* 108: 3–13.
- Rafstedt, T. & Andersson, L. 1981. Flygbildstolkning av myrvegetation. En metodstudie för översiktlig kartering. Naturvårdsverket, Rapport 1433. 106 pp.
- Rajasärkkä, A. 1988. Pomarkun Isonvan soidensuojelualan kasvillisuus. *SU* 4: 65. Metsähallitus. 49 pp.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1994. Biometria, tilastotiedettä ekologeille. Yliopistopaino, Helsinki. 569 pp.
- Salisbury, J. W. & D'Aria, D. M. 1992. Infrared (8–14  $\mu\text{m}$ ) Remote sensing of soil particle size. *Remote Sensing of Environment* 42: 156–165.
- Sederholm, J. 1913. Suomen geologinen yleiskartta, lehti B2 Tampere. Vuorilajikartan selitys. Geologinen toimisto, Helsinki. 122 pp.
- Taylor, S. E. 1979. Measured emissivity of soils in the southeast United States. *Remote Sensing of Environment* 8: 359–364.
- Van de Griend, A. A. & Owe, M. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing* 14: 1119–1131.

## SUMMARY:

**Environmental applications of remote sensing methods: discriminating mire site types by surface temperatures**

Modern remote sensing methods are adequate to study biological problems over large geographical areas. By using the Geographical Information systems (GIS), we can tie together field data with different types of remote sensing data and hence find new aspects in environmental studies. The analyses of plant communities have many applications, for example in forest and mire habitat studies.

It is difficult to classify mire site types from satellite images (Kalliola & Syrjänen 1991, Lahti & Häme 1992, Pellikka 1996). Especially subtypes of mire vegetation are not easy to separate. The best method to study these habitats by remote sensing is still the aeroplane, but recognising vegetation subtypes remains a problem (Lauhanen et al. 1995). The more the amount of trees increases, the more difficult the analysis becomes.

The aim of our study was to test the use of

Thermal Infrared (TIR)-images in discriminating mire site types. Mires are nearly ideal areas to test TIR-methods. Mire habitats are important even if we only considered their areal quantity, but from the biological perspective, mires are important in maintaining biological diversity. Forest management and peat industry also have interests in mire environments.

The study area was located in Isoneva mire, western Finland (60°40'N, 21°59'E) (Fig. 1). The vegetation composition data were obtained from the study of Rajasärkkä (1988). Surface temperature samples for four different mire site types and one upland forest site type were analyzed. The results demonstrated that there are discernible differences in surface temperatures between these site types (Figs. 2–4, Table 1). After some development the method might be successfully used in studying large vegetation areas.

*Received 9.12.1996, accepted 12.5.1997*