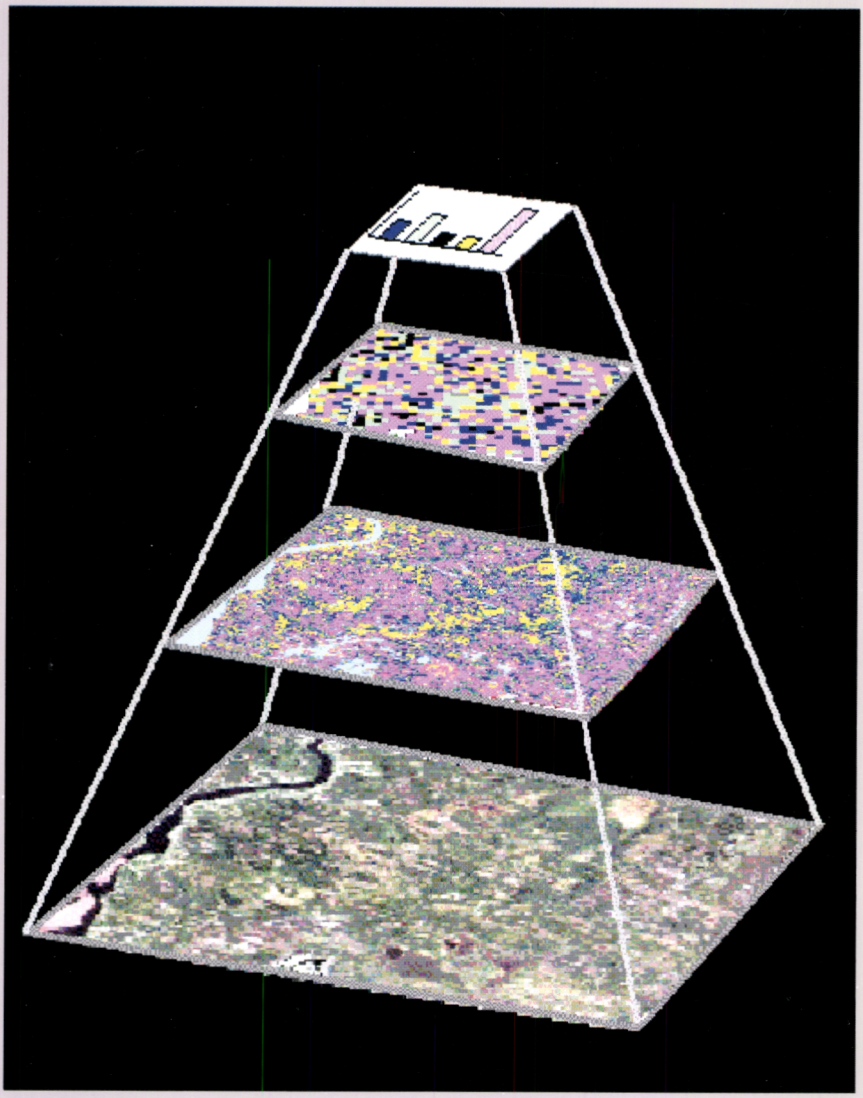


Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa

Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993

Ari Nikula, Aulis Ritari & Marja-Lea Lahti (toim.)

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Kansikuva:
Paikkatietoon liittyvän informaation hierarkiatasoja.
Vesa Nivala & Kari Mikkola

Paikkatiedon ja satelliittikuva-informaation käyttö metsäntutkimuksessa

Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993

Ari Nikula, Aulis Ritari & Marja-Lea Lahti
(toim.)

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi 1993

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Nikula, Ari, Ritari, Aulis & Lahti, Marja-Lea. 1993. Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479. 110 s. ISBN 951-40-1329-8, ISSN 0358-4283.

Julkaisun artikkelit perustuvat Rovaniemellä pidetyn tutkimuspäivän esitelmiin ja tietotauluihin. Artikkelit käsittelevät paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttöä metsäntutkimuksessa. Paikkatietojärjestelmiä on tarkasteltu METLAn omien maiden hallintajärjestelmänä, ilmastotekijöiden mallittamisessa ja Pallas-Ounastunturin kasvillisuuskartoituksessa. Satelliittikuvainformaation käyttöä on tarkasteltu osana valtakunnan metsien inventoinnin tietotuotantoa, Montsegorskin tuhoalueen muutosanalyysissä sekä hirvien ja porojen laidunalueiden kartoittamisessa. Lisäksi artikkeleissa käsitellään paikkatietojärjestelmien virhelähteitä ja maaperän kosteuden kartoitusta metsänuudistamiseen liittyen.

Avainsanat: paikkatieto, satelliittikuvat, metsäntutkimus, tutkimuspäivät

Kirjoittajien yhteystiedot: Nikula, Ari, Ritari, Aulis & Lahti, Marja-Lea: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 ROVANIEMI, puh. (960) 336411, telefax (960) 3364640.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. Hyväksynyt: Tutkimusaseman johtaja Martti Varmola.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 ROVANIEMI, puh. (960) 336411, telefax (960) 3364640.

ISBN 951-40-1329-8
ISSN 0358-4283

Lapin Painotuote Oy
Kemijärvi 1993

Sisällys

Lukijalle 4

Roiko-Jokela, P.
Paikkatieto strategisena voimavarana 5

Paananen, R. & Nuutinen, T.
Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusmetsien tiedonhallinnan ja suunnittelun kehittäminen 8

Tomppo, E. & Katila, M.
Satelliittikuvapohjainen valtakunnan metsien inventoinnin tietotuotanto 21

Mattila, E.
Paikkatietojärjestelmien virhelähteistä 27

Eeronheimo, H.
Paikkatietojärjestelmien käyttö luonnonsuojelualuiden perusselvityksissä – esimerkkinä Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuuskartoitus 42

Mikkola, K.
Satelliittikuvien käyttö ympäristömuutoksen osoittajana – esimerkkinä Montsegorskin metsätuhoalue 52

Mäkitalo, K., Sutinen, R., Sutinen, M-L. & Pänttäjä, M.
Metsämaan vesipitoisuuden luokitus dielektrisyyden ja gammasäteilyn avulla: potentiaalinen apuväline metsänuudistamisen suunnitteluun 62

Nikula, A.
Satelliittikuvainformaation ja paikkatietojärjestelmien käyttö hirven ravintovarojen alueellisessa paikantamisessa 79

Ritari, A. & Nivala, V.
Pohjois-Suomen numeerinen ilmastomalli mesoskaalassa 88

Colpaert, A., Kumpula, J. & Nieminen, M.
Porolaidunten inventointi kaukokartoitusta ja paikkatietojärjestelmää käyttäen 99

Blauberg, K.
Metsäntutkimuslaitoksen koetoiminnan tietojärjestelmän nykytila ja prototyyppi tulevaisuuden järjestelmästä 104

Ritari, A. & Nivala, V.
Lämpösumman alueellinen vaihtelu Pohjois-Suomessa kymmenvuotisjaksona 1981–1990 106

Ritari, A. & Nivala, V.
Tärkeimmät metsätalouskäyttöä rajoittavat aluevaraukset ja alueiden hallinta Pohjois-Suomessa 108

Lukijalle

Metsätalouteen ja metsien käyttöön liittyvä tieto on aina ollut luonteeltaan paikkatietoa. Myös kaukokartoitusta metsien käytön suunnittelussa on käytetty hyväksi ainakin 1930-luvulta lähtien, esimerkiksi metsävero- ja metsätalouskarttojen valmistus ilmakuvien pohjalta yleistyi sotien jälkeen.

Tavassa käyttää paikkatietoa on tapahtunut muutos viimeisen vuosikymmenen aikana. Aikaisemmista kartanvalmistusohjelmista on siirrytty kehittyneempiin paikkatieto-ohjelmistoihin (GIS = Geographical Information Systems). Tämän ovat tehneet mahdolliseksi nopea ohjelmistojen ja tietokoneiden kehitys sekä molempien hintatason halpeneminen. Pelkkien teemakarttojen lisäksi nykyisillä ohjelmistoilla kyetään käsittelemään kartta- ja ominaisuustietoa yhdessä tietokantoina ja hallitsemaan paikkatietoon liittyvä topologia. Topologianhallinnan ansiosta paikkatieto-ohjelmistoja voidaan käyttää myös numeerisiin paikkatietoanalyyseihin.

Rovaniemen tutkimusasemalle hankittiin ajanmukaiset paikkatiedon ja satelliittikuvien käsittelyyn tarvittavat työasemat ja ohjelmistot vuonna 1991. Paikkatiedon käsittely on sen jälkeen muodostunut useissa hankkeissa merkittäväksi osaksi tutkimusmenetelmiä. Lisäksi on nähtävissä, että paikkatiedon käsittelyn yleistyminen tutkimuksessa tuo mukanaan kokonaan uusia kysymyksenasetteluita, joihin perinteisillä tutkimusmenetelmillä ei olisi voitu vastata. Tärkeää on myös se, että paikkatietoon perustuvien tutkimusten tulokset ovat menetelmineen periaatteessa suoraan sovellettavissa esimerkiksi metsätalouden suunnittelujärjestelmiin.

Tämä tiedonanto koostuu Rovaniemellä 23.2.1993 pidetyn tutkimuspäivän esitelmistä sekä tietotaulujen lyhennelmistä. Tutkimuspäivän aiheena oli "Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa". Esitelmien ja tietotaulujen lisäksi aihetta käsiteltiin tietokonedemonstraatioiden avulla.

Ari Nikula Aulis Ritari

Paikkatieto strategisena voimavarana

PENTTI ROIKO-JOKELA

Metsähallitus
PL 94, 01301 Vantaa
EMAIL Pentti.Roiko-Jokela@metsa.fi

Metsäorganisaatiossa tapahtuu merkittäviä muutoksia. Hierarkisia organisaatiorakenteita puretaan. Päätösvaltaa ja vastuuta hajautetaan. Tuloksellisuutta haetaan, mikä kaikkinensa merkitsee toimintatavan olennaista muutosta.

Uudessa toimintatavassa tehokkaalla tietojenkäsittelyllä ja tiedonhallinnalla on keskeinen asema. Metsäorganisaatiossa paikkatiedon ja paikkatietojärjestelmän osuus vielä korostuu. Siksi on hyvä tarkastella

- Mikä osuus paikkatietoasioilla on 90-luvun kovassa bisnesmaailmassa?
- Ovatko paikkatietojärjestelmä ja sitä käyttävät sovellutukset sellaisia, että ne auttavat parempaan tuottavuuteen ja tehokkuuteen?
- Saako paikkatietojärjestelmien kehittäminen osuutensa yhä niukkenevassa resurssijaossa?

Paikkatietojärjestelmiin ja niitä käyttäviin sovellutuksiin on panostettu viime vuosina merkittävästi. Intoa on lisännyt tekninen kehitys, joka 80-luvun puolivälin jälkeen on ollut huikea. Tekniset työasemat ovat kehittyneet tasolle, josta osattiin vain unelmoida 5–7 vuotta sitten.

Nykyisin on mahdollista prosessoida samassa standardityöasemassa (HP9000/730) aitojen GIS-ohjelmistojen lisäksi myös monia paikkatietoon tukeutuvia asioita kuten

- laskea vaativaa mallitusta ja simulointia (MELA),
- tehdä kuljetusoptimointia ja vaativaa reitinlaskentaa (LOGISTIIKKA),
- käyttää rasteri- ja vektorimuotoista dataa.

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 5–7.

Sama työasema voi toimia lisäksi tietokantapalvelimena ja oman lähiverkkonsa palvelimena. Erikoislaitteita ei tarvita.

Paikkatiedon hallinta on kypsynyt laboratorioista käytäntöön sopivaksi nimenomaan UNIX-työasemaympäristössä. Tekniikka on kunnossa, mutta organisaation osaaminen ja kyky hyödyntää uutta teknologiaa on muodostunut ongelmaksi. Tämäkin osaltaan vauhdittaa vanhojen organisaatioiden murtumista.

Näyttää siltä, että tietotekniikan nopea kehitys ei ole jättänyt aikaa strategisille pohdinnoille. Ainakin metsäalan organisaatioiden strategiset valinnat poikkeavat varsin paljon toisistaan. Yhtäläisyyksiäkin löytyy mm. Enso-Gutzeitilla ja Metsähallituksella. Molemmat ovat ennakoineet tulevan samalla tavalla ja ovat uskoneet ns. avoimiin järjestelmiin. Työasemakokoonpano on sama, ja aikomus on hajauttaa järjestelmät aidon asiakas/palvelin -mallin mukaan.

Metsäliitolla arkkitehtuurin painopiste on PC-lähiverkoissa ja mikroissa. Osalla organisaatioita Digitalilla on merkittävä osuus. Metsäntutkimuslaitoksen ja yliopistojen valintoja voisi luonnehtia sekastrategiaksi.

Useat ratkaisut näyttävät varsin samanlaisilta. Olennaista kuitenkin on, minne strateginen tähtäin on asetettu. Ratkaisujen välillä saattaa olla suuria eroja, jos niiden hyötyjä tarkastellaan 3–5 vuoden kuluttua. Nyt on strategisten valintojen aika. Siksi tärkeää ei ole vain paikkatieto vaan myös toiminnan kehittäminen paikallisesti, mikä jo sinällään tuo valtaosan hyödyistä ja varmistaa tuottavuuden nousun.

Metsäorganisaatioiden muuttuessa tietojenkäsittelyn infrastruktuuri tullaan myös uusimaan 90-luvulla. Valtaosa käytössä olevista järjestelmistä vanhenee muutaman vuoden sisällä. Mullistuksen merkkejä on jo nähtävissä. Tietoverkottaminen ja asiakas/palvelin -mallin mukainen arkkitehtuuri lyö vääjäämättä itsensä läpi halutiin sitä tai ei.

Paikkatietojärjestelmienkin osalta on erityisen tärkeää huolehtia varsinaisista käyttäjistä. Heille on luotava mahdollisuus

- toimintansa kehittämiseen (motivaatio),
- lisätoimintojen edulliseen liittämiseen,
- liitettävyyteen viestinnän sekä muiden tietojen ja tekijöiden suhteen eli sopivuus muussa arkibisneksessä käytettäviin ratkaisuihin.

Asiakas/palvelin -arkkitehtuuri on monella tapaa ideaalinen malli tällaisille integroituneille järjestelmille.

Paikkatietojen hallinnalla on selvä strateginen merkitys metsäalalla tapahtuvaan muutokseen. Sen avulla voidaan päätöksentekoa ja ongelmanratkaisua hajauttaa paikalliseksi vaarantamatta silti kokonaisohjausta. Toimiakseen paikkatietojärjestelmä edellyt-

tää uudenlaista johtamisjärjestelmää ja tehokasta viestintää eli nykyorganisaatioiden toimintatavan merkittävää kehittämistä.

Tieto on strateginen voimavara. Varsinkin valtion omaisuuden hoitajana näen erityisesti luontotiedon strategisuuden kasvaneen viime aikoina. Huoli metsäluonnon moninaisuuden säilymisestä on tästä hyvä esimerkki. Paikkatiedon hallinnalla on paljon annettavaa myös tähän tarkoitukseen.

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusmetsien tiedonhallinnan ja suunnittelun kehittäminen

RAITO PAANANEN[1] & TUULA NUUTINEN[2]

[1]Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto
Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki
EMAIL Raito.Paananen@metla.fi
[2]Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema
PL 68, 80101 Joensuu
EMAIL Tuula.Nuutinen@metla.fi

Johdanto

Metsäntutkimuslaitoksen hallinnassa olevista maa-alueista noin 75 000 hehtaaria on talousmetsien luonteisia tutkimusmetsiä ja noin 65 000 hehtaaria luonnonsuojelulain nojalla perustettuja suojelualueita. Tutkimusmetsissä on noin 2 300 koetta tai pysyvää tutkimuskohdetta. Laitoksen uuden maa-alueohjelman (Metsäntutkimuslaitos 1993) mukaisesti alueiden käytön tavoitteena on edistää koetoiminnan ja tiedon tuottamisen välityksellä ekologisesti kestävän metsänhoidon toteuttamista, metsäluonnon monimuotoisuutta ja alkuperäisen metsäluonnon säilyttämistä Suomessa.

Tutkimusmetsät muodostavat hyvän pohjan tutkimustyölle, koska ne turvaavat pitkäaikaisten kokeiden jatkuvuuden. Ne luovat perustan ympäristön muutosten vaikutusten seurannalle ja mahdollistavat kokeiden järjestämisen tutkimuksen lähtökohdista. Omat metsät antavat myös hyvän mahdollisuuden tutkimustulosten esittelyyn käytännön metsätalouden edustajille (Metsäntutkimuslaitos 1993).

Metsiä hoidetaan ensisijaisesti tutkimustoiminnan tarpeita varten. Maa-alueiden tulee tarjota tutkimusmateriaalia mahdollisimman laajalti koko laitoksen toimialalle. Tämä edellyttää mm. metsien eri käyttömuotojen vaihtelun ylläpitämistä ja monimuotoisten metsiköiden kirjon luomista. Käyttömuotojen vaihtelu sisältää ver-

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 8–20.

tailusarjan talousmetsistä maisema-, virkistys-, ja puistometsiin, luonnonsuojelualueisiin ja koskemattomiin luonnontilaisiin metsiin (Metsäntutkimuslaitos 1993).

Tutkimusmetsille on laadittu tutkimusalueittain metsätaloussuunnitelma 10–20 vuoden välein metsätalouden tarkastuksessa. Tässä yhteydessä metsät on inventoitu metsikkökuvioittain. Kartat, kartanselityskirjat sekä metsätaloussuunnitelman taulukot on tuotettu erillisillä ohjelmistoilla (Nalle-karttaohjelmisto, Tauno-taulukko-ohjelmisto), joita ei ole integroitu toimivaksi järjestelmäksi. Luonnonsuojelualueille on laadittu hoito- ja käyttösuunnitelmia sekä erillissunnitelmia. Alueita, joilla ei ole kokeita, käsitellään vuonna 1988 vahvistettujen metsänkäsittelyohjeiden mukaisesti.

Nykyisessä järjestelmässä metsikkötietoja ei ole pidetty ajan tasalla, joten ne ovat yhtä vanhoja kuin kyseessä oleva metsätaloussuunnitelma. Vanhat kuviotiedot palvelevat huonosti sekä tutkijoita että tutkimusaluehallintoa. Kokeita koskevat tiedot ovat osin hajallaan eri yksiköissä ja tietoa kokeiden tarkasta sijainnista ei ole. Metsissä tehdyistä toimenpiteistä kertyvän historiatiedon varastointi on järjestämättä lukuun ottamatta manuaalista metsänviljelykortistoa.

Tavoitteet

Metsien käyttöön liittyvien tavoitteiden saavuttamiseksi kehitetään tiedonhallinnan ja suunnittelun työvälineitä ja menetelmiä. Kehittämistyön keskeisenä osana on tutkimusmetsien operatiivisen metsätietojärjestelmän uusiminen. Sen ohella laaditaan mm. metsien uudet käsittelyohjeet.

Tutkimusmetsien tiedonhallinta- ja suunnittelujärjestelmän kehittämisen tavoitteena on järjestelmä, jolla hallitaan metsävarojen nykytila ja historia sekä mahdollistetaan metsien tutkimuskäytön integroitu suunnittelu. Hankkeessa määritellään ja toteutetaan metsäsuunnitteluun soveltuva paikkatietojärjestelmä ja kehitetään menetelmiä, joiden avulla sen ominaisuuksia voidaan hyödyntää metsäsuunnittelussa. Järjestelmän päätoimintoja ovat kuvioittaisen metsävaratiedon hallinta, metsäsuunnittelu ja kokeiden hallinta.

Järjestelmällä pyritään edistämään metsien käyttöä koetoimintaan siten, että koetoiminta integroidaan tietojärjestelmän avulla muuhun metsien hoitoon liittyvien toimenpiteiden suunnitteluun ja toteutukseen. Monipuolinen ja ajantasainen luonnonvaratietokanta helpottaa kokeiden sijoittamista ja suunnittelua. Tietokantaan kertyvät metsiköiden kehityshistoriaa kuvaavat tiedot toimivat tärkeänä taustatietona kokeiden suunnittelussa ja tieteellisiä johtopäätöksiä tehtäessä.

Tässä esityksessä selvitetään kehittämistyön menetelmiä ja vaiheita, kuvataan järjestelmän yleisrakenne ja eräiden osien toimintaperiaatteita.

Tietojärjestelmäkehityksen menetelmät ja työkalut

Ohjelmistot ja laitteistot

Järjestelmän kehittämistyökaluiksi on valittu ARC/INFO-paikkatieto-ohjelmisto ja Ingres-relaatiotietokantajärjestelmä, joita käytetään myös muissa METLAn järjestelmissä. Laiteympäristönä on UNIX-työasemaympäristö.

Järjestelmän suunnittelun menetelmät

Järjestelmän määrittelyssä ja suunnittelussa on käytetty IE-suunnittelumenetelmää. IE (Information Engineering) on amerikkalaisen James Martinin (Martin 1989) kehittämä systeemityömenetelmä, joka soveltuu sekä tietoarkkitehtuurien suunnitteluun että yksittäisten järjestelmien määrittelyyn ja suunnitteluun. Hankkeessa on ollut käytössä ko. menetelmään perustuva CASE-ohjelmisto (IEF, Information Engineering Facility), joka tukee formaalia systeemianalyysia, dokumentointia sekä integrointia muuhun järjestelmäkehitykseen.

Metsätiedon hallinnan työkalut

Inventointilaskelmien ja metsäsuunnittelun kehittämisessä hyödynnetään laitoksessa aiemmin kehitettyjä metsää kuvaavia malleja (esim. Rummukainen & Alanne 1992) sekä metsätalouden suunnittelun erikoisohjelmistoja, MELA-metsäsimulaattoria ja JLP-optimointiohjelmistoa. MELA on metsätalouden suunnittelun ohjelmisto, jonka perustoimintoja ovat käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simulointi laskentayksiköille (esim. käsittelykuvioille), taloudenharjoittajan tavoitteen toteuttavan tuotanto-ohjelman valinta metsätalousyksikölle sekä tuotanto-ohjelman toteuttavan käsittelyn valinta laskentayksiköille (Siitonen 1983). MELA koostuu kahdesta erillisestä ohjelmasta: MELAVS (metsäsimulointi) ja MELATV (optimointi) (Siitonen 1992). JLP on suunnittelulaskelmien tekoon kehitetty lineaarisen optimoinnin ohjelmisto (Lappi 1992), joka sisältää optimointialgoritmin lisäksi käyttöliittymän. JLP-ohjelmistoa voidaan käyttää itsenäisenä tai upotettuna MELATV-ohjelman sisälle.

Hankkeen organisointi ja vaiheet

Organisointi

Hanke on ajoitettu vuosille 1990–1993 ja tavoitteena on, että järjestelmä on otettavissa käyttöön vuoden 1993 lopulla. Hanke on jaettu neljään osahankkeeseen:

1. järjestelmän tietomallit (metsänkasvatuksen tutkimusosasto),
2. metsäsuunnittelujärjestelmä (Joensuun tutkimusasema),
3. perustietojen hankinta ja hallinta (tutkimusalueyksikkö, tietohallintoyksikkö, Joensuun tutkimusasema) ja
4. kokeiden sijaintitiedon hallinta (tietohallintoyksikkö).

Esitutkimukset

Vuosina 1990–1992 tehtiin esitutkimuksia Kolin ja Suonenjoen tutkimusalueiden aineistoilla (Nuutinen 1991, Nalli 1992, Nuutinen 1993). Esitutkimuksissa kehitettiin metsäsuunnittelun menetelmiä ja testattiin paikkatietoteknologian toimivuutta siirtämällä vanhaa metsikkökuvioaineistoa Nalle- ja Tauno-järjestelmistä ARC/INFOon ja Ingresiin. Esitutkimuksissa todettiin, että paikkatietoteknologiasta on hyötyä erityisesti muiden kuin puuntuotantoon liittyvien arvojen huomioon ottamisessa. Lisäksi todettiin, että luonnonvarojen inventointia ja metsää kuvaavia malleja on kehitettävä, jotta paikkatietoteknologiaa pystyttäisiin hyödyntämään mm. operatiivisessa suunnittelussa.

Toiminto- ja tietoanalyysi

Laitoksen tietojärjestelmästrategian rajausten pohjalta (Saarenmaa ym. 1990) analysoitiin tutkimusmetsiin kohdistuvat toiminnot ja niiden kehittämistarpeet. Samalla kartoitettiin tutkimusmetsistä tarvittavien tietojen rakenne ja sisältö. Erityistä huomiota kiinnitettiin eri tutkimusalojen tietotarpeisiin. Analyysit tehtiin olemassa olevan kirjallisen materiaalin (Metsäntutkimuslaitos 1985, 1989a, 1989b) ja asiantuntijoiden haastattelun avulla. Analyysin tuloksena saatiin kokonaisjärjestelmän perustan muodostavat loogiset mallit tutkimusmetsien toiminnoista (toimintomalli) ja tiedoista (käsitekaavio).

Toimintomalli laadittiin IE-menetelmän mukaisena toimintohierarkiana (activity hierarchy). Käsitekaavio laadittiin ym. menetelmään sovitettua ER-mallia (Entity Relationship) käyttäen. ER-malli on käsitemalli (conceptual data model), jolla voidaan kuvata

tarkasteltavan alueen (tutkimusmetsien) "pienoismaailma" joukolla korkean tason loogisia käsitteitä, jotka ovat riippumattomia tietokannan toteutustavasta. Käsitekaavioon määriteltiin järjestelmään sisällytettävät tietokohteet ja niiden väliset yhteydet. Osalle kohteita kuvausta tarkennettiin määrittelemällä myös ominaisuudet ja niiden arvoalueet sekä avainkentät.

Inventointi- ja suunnittelulaskelmien kehittäminen

Tietokannan rakenteen ja sisällön määrittelyn rinnalla rakennetiin inventoinnin peruslaskenta- ja metsäsuunnittelusovellusta. Inventoinnin peruslaskentajärjestelmä käsittää relaskooppikoealan kuvauspuiden muodostamisen puusto-ositteesta (keskipuusta) ja runkolukusarjasta sekä täydentävien tietojen (esim. tilavuus) ja kasvun laskennan kuvauspuille. Suunnittelusovelluksen periaatteita on kuvattu luvussa "Tiedonhallinta- ja suunnittelujärjestelmän kuvaus".

Koeinventointi ja tietokannan määrittely

Tietoanalyysia tarkennettiin kuvioittaisen perustietovaraston tunnusten ja luokitusten yksityiskohtaisella määrittelyllä. Sen perusteella laadittiin kuvioittaisen inventoinnin maastotyöohje ja -lomakkeet. Inventointia testattiin kesällä 1992 osalla Kivalon tutkimusaluetta.

Inventointimenetelmä perustuu ilmakuvilta tapahtuvaan ennakkokuviointiin ja maastomittauksiin. Maastossa kuvioilta (ns. peruskuviot) luokitettiin mm. maapohja ja kasvupaikka sekä mitattiin relaskooppikoealoja tai taimikoissa kiinteäalaisia koealoja, jotka myös paikannettiin silmämääräisesti ilmakuville. Relaskooppikoealoilta määritettiin puusto-ositteittain pohjapinta-ala ja minimiläpimitta sekä pohjapinta-alan mediaanipuusta ositteiden keskipituus, keskiläpimitta ja ikä. Taimikoissa arvioitiin pohjapinta-alan sijasta ositteittainen runkoluku. Tiedot merkittiin sellaisinaan lomakkeille. Osasta koealoja arvioitiin koealan keskipisteestä maaperän kerrosten paksuus ja otettiin maalajinäytteet. Lisäksi ao. koealoilta tehtiin kivisyysmittauksia. Koeinventointialueella selvitettiin myös kokeiden paikantamiseen liittyviä kysymyksiä.

Tehtyjen määrittelyjen ja kerätyn aineiston perusteella muodostettiin tietokanta, joka käsittää kuvioihin liityvät sijaintitiedon kohteet ARC/INFOn tietokerroksina sekä kuvion ominaisuustiedot Ingres-tauluina. Myös kuvioilta mitatut puustokoealat vietiin tietokantaan sellaisenaan. Karttatietojen digitoinnin yhteydessä voitiin laadittua kohdemallia verifioida ja tehdä siihen tarvittavia muutoksia. Koeinventointiaineistolla testattiin myös puustotietojen laskentaa.

Tuotantojärjestelmän rakentaminen

Vuoden 1993 aikana rakennettiin järjestelmän keskeiset osat valmiiksi ja niitä testattiin Kivalon tutkimusalueen hoito- ja käyttösuunnitelman teon yhteydessä. Rakennettavat osat käsittävät taustatiedon hallinnan (esim. peruskartta-aineisto), peruskuvioiden sijainti- ja ominaisuustietojen sekä kokeiden sijaintitietojen tallennusosat, puustotietojen laskennan, perustulosteiden tuottamisen (mm. kartanselityskirja) sekä metsäsuunnittelun sovelluksen.

Tutkimusmetsien toiminto- ja kohdemalli

Hierarkkisessa toimintomallissa on kuvattu ne loogiset toiminnot, jotka tuottavat tai käyttävät tutkimusmetsiin liittyvää (paikka-) tietoa. Teknisiä atk-toimintoja ei ole kuvattu kattavasti. Tutkimusmetsien päätoiminnot on esitetty kuvassa 1.

Käsitekaaviossa on kuvattu geometriset kohteet (paikkatietoydin, spatial data kernel), niihin liittyvät ominaisuustietokohteet sekä niiden yhteydet. Paikkatietoydin muodostaa oman kohderyhmänsä, jonka ydinkohteita ovat piste, viiva ja alue. Määritellyt sijaintitiedon kohteet on kuvattu näiden kohteiden alakohdeluokkina. Alue-kohteen alakohteiden avulla on määritelty tarvittavat aluejaot. Vastaavasti viivat ja pisteet on pyritty ryhmittämään loogisesti yhteenkuuluviksi tasoiksi.

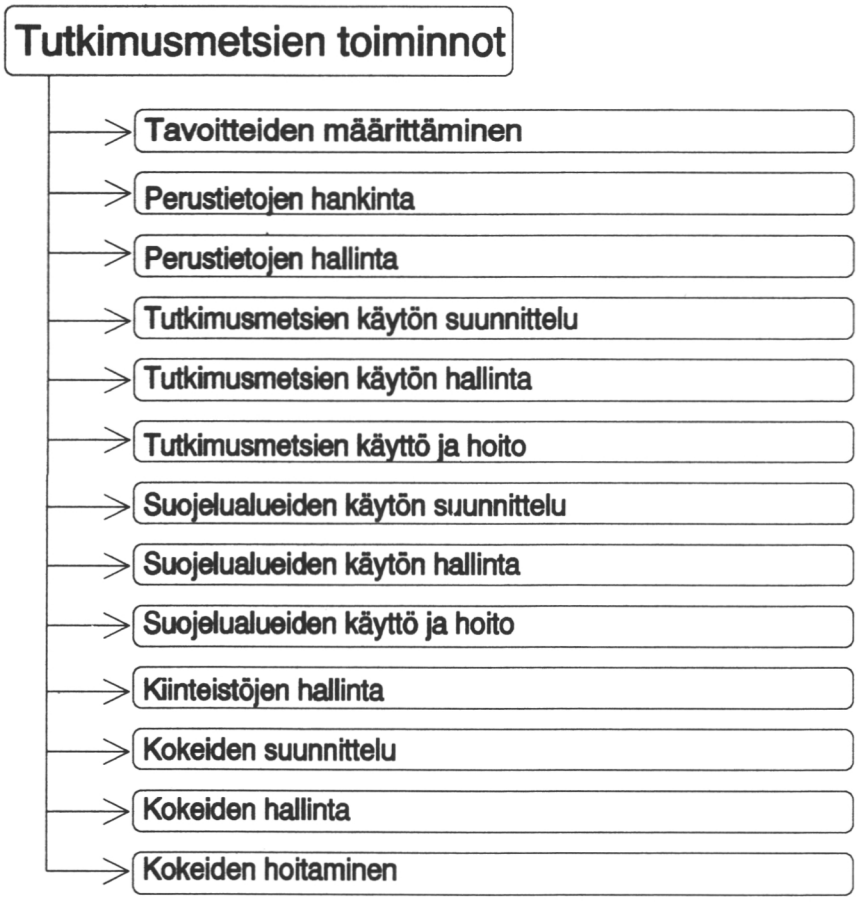
Sijainti- ja ominaisuustiedon hallinnan toteutus eri järjestelmissä (GIS, RDBMS) on huomioitu käsitekaaviossa. Esim. peruskuvio on jaettu kahdeksi sijaintia ja ominaisuuksia kuvaavaksi kohteeksi (kuva 2). Paikkatietoytimen ulkopuolella olevat kohteet kuvaavat niitä ominaisuustietoja, jotka liittyvät eri sijaintitiedon kohteisiin. Käsitekaaviosta on suoraan pääteltävissä eri kohteiden toteutustapa. Paikkatietoydin-kohderyhmä toteutetaan GIS-tietorakenteina ja muut (ominaisuustiedot) relaatiotietokannan tauluina. Yhteys sijainti- ja ominaisuustietojen välille muodostetaan yksikäsitteisillä avaimilla (esim. kuviotunnus).

Peruskuvion ohella keskeisiä geometrisia kohteita ovat kokeiden sijaintitiedon kohteet. Koeyksikköalue on rajattu alue, joka on yhtenäinen sekä alueellisesti että niiden ominaisuuksien ja toimenpiteiden suhteen, joita kulloinkin halutaan tutkia. Kokeen vaikutusalue (koemetsikköalue) on koeyksikköalueen ympärille rajattu alue, jonka rajauksesta ja käsittelyohjeista vastaa kokeen vastuututkija.

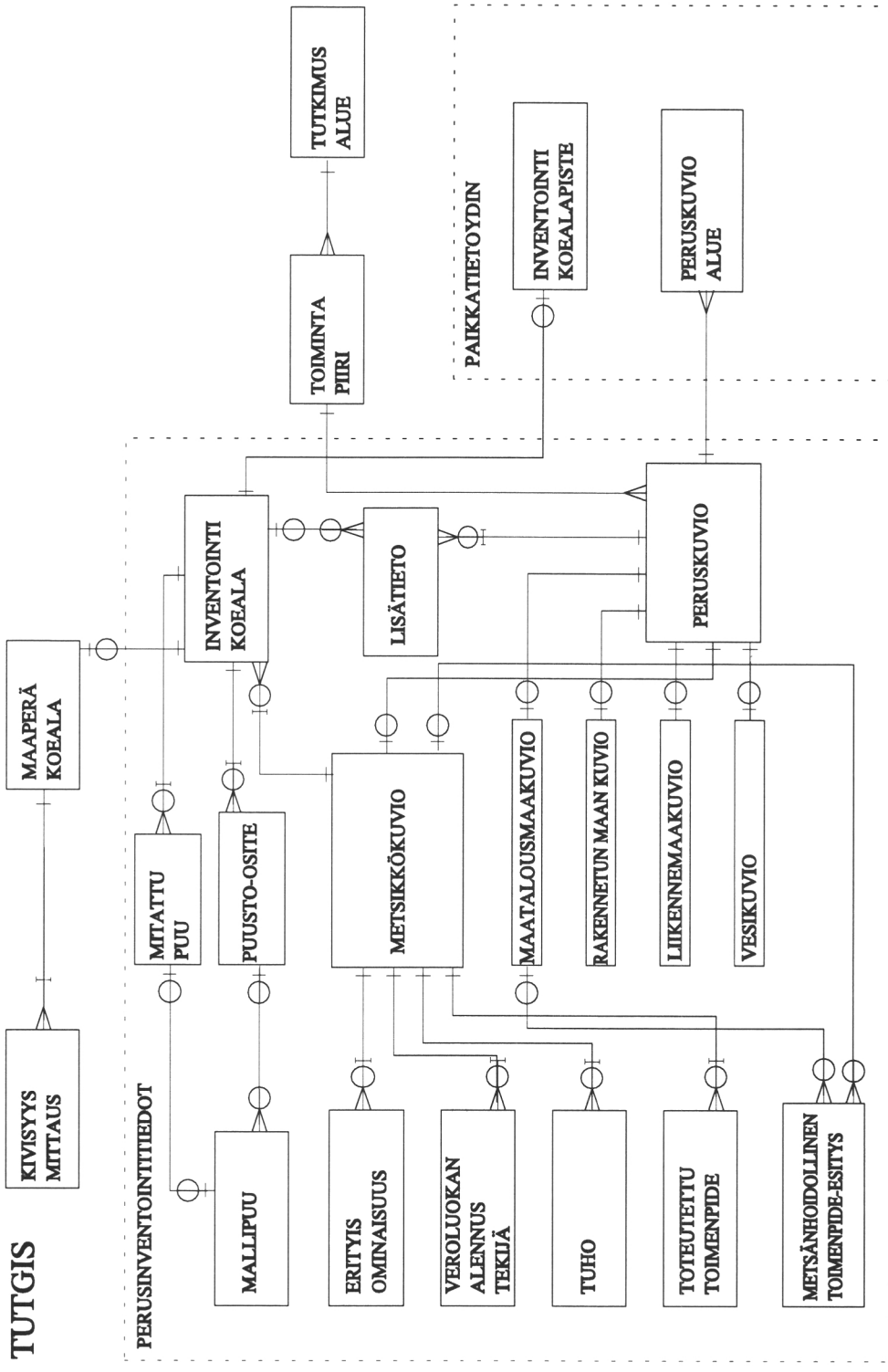
Käsitekaaviossa on määritelty myös ne erilaiset hallinnolliset ja toiminnalliset erityisaluejaot, joita tarvitaan mm. suunnittelussa. Näitä ovat mm. erilaiset suojelualueet, kaava-alueet, vuokra-

alueet, maisemanhoito-, riistanhoito- ja virkistysalueet sekä erityiset biotoopit ja uhanalaisten eliölajien esiintymiskohteet. Erityyppisiä aluejakoja määriteltiin kohdemalliin yhteensä noin 20 kpl.

ER-mallilla voidaan kuvata tietojen looginen ja staattinen rakenne ja yhteydet. Malli ei kuitenkaan sovellu sijaintitietojen tallennuksessa ja käytössä tarvittavien ARC/INFOn tiedonkäsittelyoperaatioden (esim. leikkaus, topologian muodostus) kuvaamiseen. Näiden prosessien (esim. peruskuvioiden muodostamisen eri viiva- ja aluetyypeistä) kuvaamiseen käytettiin tietovirtakaavioita.



Kuva 1. Tutkimusmetsien päätoiminnot.


TUTGIS
KIVISYYS MITTAUS
MAAPERÄ KOEALA
PERUSINVENTOINTITIEDOT
MALLIPUU
MITATTU PUU
PUUSTO-OSITE
INVENTOINTI KOEALA
ERITYIS OMINAISUUS
VEROLUOKAN ALENNUS TEKIJÄ
TUHO
TOTEUTETTU TOIMENPIDE
METSÄNHOIDOLLINEN TOIMENPIDE-ESITYS
METSIKKÖKUVIO
LISÄTIETO
MAATALOUSMAAKUVIO
RAKENNETUN MAAN KUVIO
LIIKENNEMAAKUVIO
VESIKUVIO
PERUSKUVIO
TOIMINTA PIIRI
TUTKIMUS ALUE
PAIKKATIETOYDIN
INVENTOINTI KOEALAPISTE
PERUSKUVIO ALUE

Tiedonhallinta- ja suunnittelujärjestelmän kuvaus

Kokonaisjärjestelmän rakenne

Tiedonhallinta- ja suunnittelujärjestelmän ytimenä on luonnonvaratietokanta, joka sisältää tutkimusmetsiin liittyvät sijainti- ja ominaisuustiedot. Niitä hallitaan relaatiotietokannan hallintajärjestelmällä (RDBMS) ja paikkatieto-ohjelmistolla (GIS). Kokonaisuutta kutsutaan tässä paikkatietojärjestelmäksi. Paikkatietojärjestelmällä hallitaan sekä eri sidosryhmien tuottamia paikkatietoja (esim. peruskarttatiedot) että luonnonvarojen inventoinneilla hankittuja paikkatietoja (perusinventointi, koealamittaukset, kasvillisuuskartoitukset).

Paikkatietojärjestelmän käyttöä varten tarvitaan siihen liittyviä metsäsovelluksia (esim. inventoinnin peruslaskenta). Metsäsuunnittelun sovellus käyttää paikkatietojärjestelmää kokoamaan eri tietolähteistä tarvittava metsän kuvaus sekä erityiskohteita (esim. kokeet, maisemanhoitoalueet) koskevat hoito-ohjeet ja suunnitelmat. Paikkatietojärjestelmän sekä sitä tukevien ja käyttävien metsäsovellusten muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan metsätietojärjestelmäksi.

Metsikköhistorian hallinta paikkatietojärjestelmässä

Metsiköiden kehitys- ja toimenpidehistoria on kokeiden suunnittelun kannalta hyvin keskeinen tieto. Metsikkötiedon spatiaalisen ja temporaalisen hallinnan kannalta tiettynä ajankohtana tehtävä metsän inventointi edustaa hetkellistä poikkileikkausta metsän tilasta. Metsikön kasvusta aiheutuva muutos ei ole spatiaalinen ja voidaan ennustaa malleilla haluttuun ajankohtaan ja päivittää ominaisuustietoihin (puustotietoihin). Tehdyt metsänhoitotoimenpiteet ovat hetkellisiä tapahtumia, jotka voivat aiheuttaa sekä spatiaalisia että ominaisuustietojen muutoksia.

Toimenpidehistorian ja peräkkäisten inventointien spatiaalinen hallinta voidaan ratkaista soveltaen ns. tila-aikakompositiota (space-time-composite). Menetelmän on esittänyt Langran (1992). Menetelmässä muodostetaan geometrinen yhdiste kumuloiduista muutoksista. Lähtökohtana on jonkin ajankohdan tilanne (kuviointi), joka kuvaa sen hetkisen kohteiden geometrian ja topologian. Jokainen muutos aiheuttaa kuvioiden pilkkoontumisen uusiksi kuvioiksi siten, että kullakin kuviolla on oma, muista poikkeava ominaisuuksien kehityshistoria.

Metsikköhistorian periaatteellinen GIS-ratkaisu koostuu kolmesta osasta (kuvioinnista):

1. Ajantasainen peruskuviointi kuvaa metsän tilan viimeisimmän saatavilla olevan tiedon mukaisena. Muutokset päivitetään heti sekä sijainti- että ominaisuustietoihin ja vain viimeisin kuvaus säilytetään.
2. Toteutetut toimenpiteet hallitaan yhdessä kuvioinnissa, johon toimenpidekuviot päivitetään em. space-time-composite -menetelmällä.
3. Eri ajankohtina tehdyt inventoinnit voidaan myös yhdistää yhteen kuviointiin samalla menetelmällä. Kuviointi kertoo metsän tilan eri inventointihetkinä.

Metsäsuunnittelun sovellus

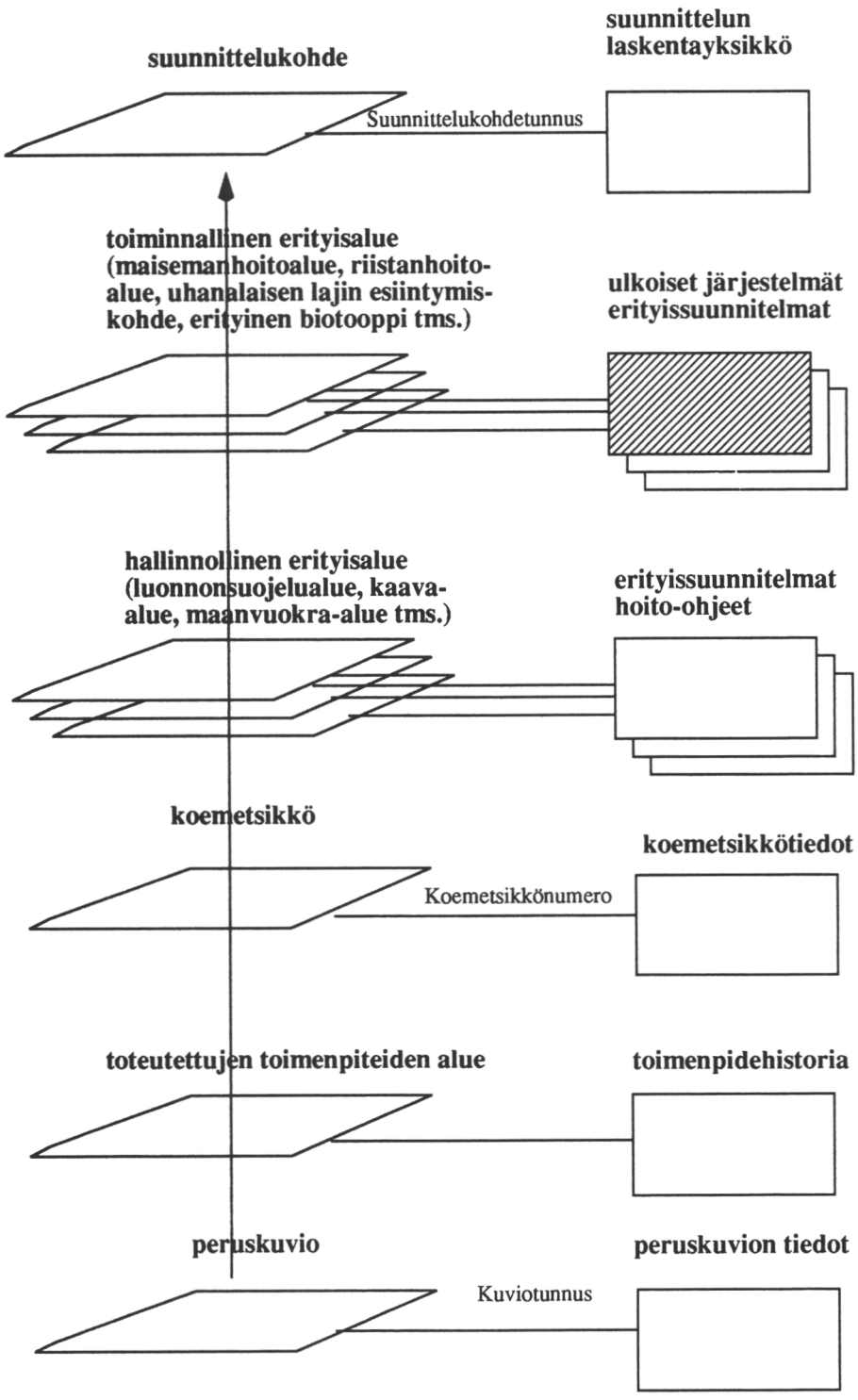
Vaihtoehtolaskelmiin perustuva metsäsuunnittelu voidaan kuvata prosessina, jossa on seuraavat vaiheet:

1. Päätösanalyysi, jossa määritetään päätöksentekijän päämäärä ja tavoitteet eli tunnistetaan päätöksentekijät, päätöskriteerit ja päätöksentekijöiden preferenssit.
2. Vaihtoehtoisten suunnitelmien laadinnassa tarvittavien tietojen hankinta eli suunnittelunäkymän tuottaminen.
3. Vaihtoehtoisten suunnitelmien laatiminen siten, että vaihtoehdot ovat tehokkaita päätösanalyysissä tunnistettujen tavoitteiden suhteen ja vaihtoehdot on kuvattu siten, että päätöksentekijä pystyy vertailemaan ja arvottamaan niitä.
4. Vaihtoehtoisten suunnitelmien vertailu ja arvottaminen.
5. Toteutettavan vaihtoehdon valinta.

Suunnittelulaskelmien kehittämistyön periaatteita ja tuloksia ovat kuvanneet mm. Nalli (1992), Nuutinen (1988, 1989, 1990), Nuutinen & Pukkala (1992), Kangas ym. (1992) sekä Paananen & Nuutinen (1992).

Vaihtoehtolaskelmien tekoon soveltuvaan suunnittelusovellukseen kuuluvat 1) metsän ja toimintaympäristön nykytilan kuvaus, 2) suunnittelunäkymän tuottaminen, 3) vaihtoehtoisten suunnitelmien tuottaminen sekä 4) suunnitelmien havainnollistaminen.

Suunnittelunäkymän tuottaminen on prosessi, jonka tarkoituksena on tuottaa suunnitteluhetken käsittelykuviot (toimenpidekuviot) sisältävä GIS-aluejako. Suunnittelija käyttää metsän ja toimintaympäristön nykytilan kuvausta apunaan löytääkseen ne hallinnolliset ja toiminnalliset erityisalueet, jotka vaikuttavat kulloiseenkin päätöksentekotilanteeseen (kuva 3). Vaihtoehtoisia suunnitelmia tuotetaan metsäsimulaattorista ja optimointiohjelmistosta kootun sovelluksen avulla ja suunnitelmia havainnollistetaan erilaisina raportteina ja teemakarttoina.



Kuva 3. Suunnittelukohteiden muodostamisperiaate. GIS- aluejaoista (suunnikkaat) ja niihin liittyvistä ominaisuustiedoista (neliöt) muodostetaan tarvittavat lähtötiedot suunnittelun laskentayksiköiksi.

Paikkatietojärjestelmä palvelee suunnittelusovellusta varastoimalla paikkatietoja yleiskäyttöisessä muodossa, tuottamalla ajantasaisen metsävaranäkymän ja tuottamalla teemakarttoja ja raportteja puuntuotannon rajoitusalueista, pakollisista ja/tai kiireellisistä hoitotöistä ym. erityissuunnitelmista sekä suunnitelmavaihtoehdoista.

Päätelmiä

Järjestelmän kehittäminen on tähän mennessä osittanut sen, että GIS-teknologia on kypsynyt käyttökelpoiseksi eri lähteistä tulevan tiedon yhdistämiseen, hallintaan ja analysointiin. Suurimmat ongelmat liittyvät luonnonvarojen ajantasaisen, tarkan ja monipuolisen kuvauksen tuottamiseeen. Nykyiset metsän kehityksen ennustamismenetelmät eivät sovellu kaikkien erikoiskohteiden kuvaukseen. Eri tietolähteistä hankitut tiedot eivät ole välttämättä yhteismitallisia, niiden yhdistäminen on vaikeaa eikä tietoa ole vielä kattavasti saatavilla. Erityisesti erikoiskohteiden paikantaminen ja hoito-ohjeiden yhteismitallinen kuvaus eri organisaatioissa vaatisi kehittämistä yhteistyönä.

Hankkeessa on myös tullut esille kuvioittaisen metsän inventoinnin ja metsäsuunnittelun menetelmäkehityksen puutteita. Perinteisellä inventoinnilla hankittu tieto ei täytä tutkimusmetsien käyttäjien tarpeita vaan useimmiten tarvitaan erillisinventointeja, kuten kasvillisuuskartoituksia. Paikkatieto-ohjelmistot tarjoavat myös joukon analyysityökaluja, joiden hyödyntäminen edellyttää tutkimusta ja kehittämistä.

Kirjallisuus

Kangas, J., Päivinen, R. & Varjo, J. 1992. Integroitu metsäsuunnittelu. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, tiedonantoja 2. 34 s.

Langran, G. 1992. Time in geographic information systems. Taylor & Francis. Burgess Science Press, Basingstoke, Great Britain. 181 s.

Lappi, J. 1992. JLP: A Linear Programming Package for Management Planning. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. 134 s.

Martin, J. 1989. Information Engineering I. Introduction. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 178 s.

Metsäntutkimuslaitos 1985. Metsäntutkimuslaitoksen hallinnon tietojenkäsittelyn kehittämissuunnitelma vuosille 1986–1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 203. 45 s.

— 1989a. Tutkimusaluetyöryhmän mietintö. 17 s. + liitt.

— 1989b. Metsäntutkimuslaitoksen alueiden tutkimuskäyttöä koskeva ohjeisto. 6 s. + liitt.

— 1993. Metsäntutkimuslaitoksen maa-alueohjelma 1990-luvulla. Moniste. 19 s. + liitt.

Nalli, A. 1992. Monikäytön suunnittelumenetelmä. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 65 s. + liitt.

Nuutinen, T. 1988. Metsätalouden suunnittelujärjestelmä – METIK-sovellus. Julkaisussa: Kinnunen, H. & Nuutinen, T. (toim.). Metsätalouden tietojärjestelmät. Rovaniemellä pidetyn seminaarin esitelmät. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Silva Carelica 10: 115–124.

— 1989. Combinatorial optimization in short-term forest planning. Joensuun yliopisto. Thesis for the Degree of Licentiate of Science in Agriculture and Forestry. 54 s.

— 1990. GIS in harvesting scheduling of private forests in Finland. GIS/LIS'90 Proceedings. s. 432–439.

— 1991. Utilizing relational database management system in timber sale planning. Julkaisussa: Saarenmaa, H. (toim.). Current advances in the use of omputers in forest research. Workshop of the IUFRO Working Party S4.11-03, Joensuu, Finland, 14.2.1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 395: 42–49.

— 1993. Metsätietojärjestelmä – apuväline puukaupan suunnitteluun? Meridian käyttäjäpäivillä 19.–20.1.1993 pidetty esitelmä. 7 s.

— & Pukkala, T. 1992. Long-term forestry management with landscape illustrations. Proceedings Joint FAO/ECE/ILO Committee. The use of information systems in forestry. Garpenberg, Sweden, 14.–18.9.1992. s. 14–27.

Paananen, R. & Nuutinen, T. 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusmetsien tiedonhallinta- ja suunnittelujärjestelmähanke. Paikkatietomarkkinoilla 22.–23.9.1992 pidetty esitelmä. Moniste. 7 s.

Rummukainen, A. & Alanne, H. 1992. Wood procurement in Finland by the year 2000. Seminar on the future of the forestry workforce Oregon State University, Corvallis, Oregon, U.S.A. 4.–8.5.1992. Moniste. 8 s.

Saarenmaa, H., Lehto, K., Kaila, E., Salminen, H. & Pöntinen, J. (toim.). 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmästrategia. Työryhmän mietintö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 350. 82 s. + liitt.

Siitonen, M. 1983. A long term forestry planning system based on data from the Finnish National Forest Inventory. Julkaisussa: Forest inventory for improved management. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration. 17: 195–207.

— 1992. MELA-käytön pikaopas. Metsäntutkimuslaitos. 8.9.1992. Moniste. 13 s.

Satelliittikuvapohjainen valtakunnan metsien inventoinnin tietotuotanto

ERKKI TOMPPO & MATTI KATILA

Metsäntutkimuslaitos, Metsien käytön tutkimusosasto
Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki
EMAIL Erkki.Tomppo@metla.fi
EMAIL Matti.Katila@metla.fi

Johdanto

Meneillään olevan 8. valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyöt on aloitettu 1986 ja saatetaan päätökseen kesällä 1994. Maastomittaukset perustuvat systemaattiseen ryväsotantaan perusmittausyksikkönä rypään koeala. Valtakunnan metsien inventoinnin tavoitteena on ollut tuottaa objektiivista tietoa maan metsävaroista esimerkiksi metsäteollisuuden strategista suunnittelua varten, metsätalouden suunnitteluun suuralueilla ja metsäverotuksen perusteiksi.

Maasto-otoksen harvuudesta johtuen on pienin mahdollinen tulosten laskentayksikkö ollut kooltaan 200 000 ha. Inventointikierto yli koko maan on kestänyt kymmenen vuotta, mikä on vaikeuttanut nopeiden muutosten seurantaa metsissä.

Vuodesta 1989 lähtien tuloksia on laskettu ns. monilähteisellä inventoinnilla, joka käyttää maastomittausten lisäksi satelliittikuvatietoa ja numeerista karttatietoa. Uuden laskentamenetelmän on katsottu parantavan em. lohkoinventoinnin heikkouksia ja VMI:n tavoitteiden listaan on voitu lisätä ajantasaisen ja paikkaansidotun metsävaratiedon tuottaminen yli koko maan.

Tietolähteet

Satelliittikuvatieto

Uudessa VMI:ssä on hyödynnetty Landsat 5 TM luonnonvarojen kartoitussatelliitin ottamia kuvia. Temaattinen kartoitin tuottaa

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 21–26.

tietoa kuudella kanavalla, joiden erotuskyky on 30 m. TM-kuvien etuna on halpuus ja suuri peittävyys (180 × 180 km) verrattuna esimerkiksi ranskalaiseen SPOT-satelliittiin (60 × 60 km). Heikkoutena on metsikkökuvioiden kokoon nähden suuri kuva-alkion koko ja epävarmuus pilvettömien kuvien saannista halutulle alueelle kunakin vuonna.

VMI on aloittanut Teknisen Korkeakoulun kanssa yhteistutkimuksen, jonka tarkoituksena on selvittää aktiivisten kaukohavainnointilaitteiden käyttömahdollisuuksia metsien inventoinnissa. Tällä hetkellä on saatavissa ERS-1 ja JERS-1 satelliittien SAR-tutkakuvia.

Numeerinen karttatieto

Luokituksen tarkkuutta voidaan parantaa, jos muut maankäyttöluokat saadaan erotettua metsätalouden maasta. Tätä varten monilähteisessä inventoinnissa on käytetty numeerista karttatietoa soista, pelloista, teistä (Maanmittaushallitus) ja taajamista sekä yksittäisistä asuinrakennuksista (Väestörekisterikeskus). Karttatieto on oikaistu yhtenäiskoordinaatistoon satelliittikuvaa vastaavalla kuva-alkion koolla.

Hankittu suotieto on digitoitu lähinnä 1 : 100 000 yleistetystä peruskarttatiedosta. Alunperin sen avulla odotettiin voitavan tarkentaa luokitusta kohdentamalla suokoealat suoalueiden luokitukseen. Sittemmin numeerinen suokarttatieto on osoittautunut geometrisesti varsin epätarkaksi ja sen käytöstä on pääosin luovuttu.

Peltomaski ja tiet on digitoitu 1 : 50 000 peruskartan pienennöksiltä ja ne ovat osoittautuneet varsin käyttökelpoisiksi. Ongelmaksi on jäänyt peruskarttojen ajantasaisuus, sillä vanhimmat niistä on tehty 1960–1970 -luvulla. Uudessa topografisessa 1 : 50 000 kartassa karttaelementit toimitetaan digitaalisessa muodossa ja teemoja on tulossa lisää, esimerkiksi suot, kalliot ja avomaat. Kartan julkaiseminen on käynnistynyt 1989 ja sarja valmistuu koko Suomesta noin vuoteen 2000 mennessä.

Vesialueet saadaan eroteltua kanavien kynnysarvoilla suhteellisen luotettavasti suoraan TM-kuvalta. Turvetuotantolueet on erikseen tulkittu TM-kuvalta.

Hallinnollisena tietona ja tulosten laskentayksikköinä on käytetty numeerista kuntarajatietoa.

Maastotieto

Käynnissä olevan 8. VMI:n koealatiedot ovat peruskartalle paikannettuja ja käyttökelpoisia maastotukiaineistoksi. Maastotiedot on muunnettu kuva-alkiokohtaisesti ja yhdistetty TM satelliittikuvan kanavien intensiteetteihin. Kuvatulkintaa varten inventoinnin

maastotöissä on kuvattu koealalle lähimmän metsikön kuviorajan etäisyys ja laatu.

Luokitusmenetelmä

Kuvatulkinnan ensimmäinen vaihe on kuvan esikäsittely, 'oikaisu' karttakoordinaatistoon ja mahdollisesti kohinan tai raitojen poisto kuvalta. Seuraavat vaiheet ovat tulkinnassa käytettävien piirteiden (spektriset tai spatiaaliset) valinta, itse luokitus ja lopuksi saadun tulkinnan jälkikäsittely.

Monilähteisessä inventoinnissa luokitusmenetelmänä on käytetty ns. lähimmän naapurin sumeaa luokitusta (nearest neighbour). Jokaisen luokitettavan pikselin valittuja piirteitä verrataan maastokoealojen vastaaviin piirteisiin. Piirreavaruudessa n:n lähimmän koealan maastotiedot viedään luokitettavalle kuvanalkiolle painottaen niitä kääntäen etäisyyden neliöön piirreavaruudessa. Oletetaan $d_{(1),p}, \ldots, d_{(n),p}$, $(d_{(1),p} \leq \ldots \leq d_{(n),p})$, n ~ 5–10 ja määritetään

$$\frac{1}{d} w_{i,p} = \frac{1}{d^2_{(i),p}} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d^2_{(i),p}}$$

Määrätään estimaatti muuttujalle M

$$\hat{M}_p = \sum_{j=1}^{n} w_{(j),p} \cdot M_{(j),p} \qquad [1]$$

missä M(j),p, j=1,...,n, ovat kuvanalkion p piirreavaruudessa n:n lähimmän kuvanalkioiden muuttujan M arvot [1].

Lähimmän naapurin menetelmällä voidaan yleistää luokituskuvaksi mikä tahansa VMI-muuttuja. Luokituksessa huomioon otettavia ongelmia ovat maasto- ja kuvatiedon eriaikaisuus ja metsikkökuvioista johtuva rajakuvanalkioiden suuri määrä. Jälkikäsittelyllä voidaan tuottaa luokituksesta esim. kuviokarttoja ja kuvionselityskirjoja.

Tulkintatulosten tarkastelua

Monilähteisen inventoinnin kuvatulkintaa on tehty vuodesta 1989 lähtien ja tähän mennessä luokitettu alue on n. 10 milj. ha kattaen Etelä-Suomen keski- ja itäosan. Luokitustuloksen harhattomuutta suuralueella on testattu esim. Keski-Suomen lautakunnassa vertaamalla puuston keskitilavuuden ja puulajien osuuden estimaatteja perinteisen lohkoinventoinnin estimaattiin (taulukko 1). Moni-

lähteisen inventoinnin tulosestimaatit mahtuvat lohkoinventoinnin tulosten keskivirheen vaihteluväliin. Metsätalousmaan osuudessa ja sitä kautta puuston kokonaistilavuuksissa on havaittu lievää yliarviota. Syynä lienee numeerisen karttatiedon vajavaisuus muiden maankäyttöluokkien erottelemiseen.

Taulukko 1. Maastomittauksiin (MI) ja monilähteiseen inventointiin (MLI) perustuvat estimaatit puuston keskitilavuudelle puulajeittain metsä- ja kitumaalla, Keski-Suomen metsälautakunta (1 297 000 ha).

	MI		MLI	
Puulaji	m^3/ha	%	m^3/ha	%
Mänty	42,8	39,6	43,4	40,4
Kuusi	48,0	44,4	47,1	43,9
Koivu	14,2	13,2	13,9	12,9
Muu pl.	3,0	2,8	3,0	2,8
Yhteensä	108,1	100,0	107,4	100,0

Kunnittaisia metsävaratuloksia on verrattu metsälautakuntien aluesuunnittelun yhdistelmätuloksiin. Metsätaloussuunnittelun kuviottaisen arvioinnin tulokset perustuvat kuitenkin silmävaraiseen arvioon ja kattavat vain osan kuntien metsistä. Näihin sisältyy myös yleensä lievä varovaisuusperiaate. Esimerkiksi Etelä-Pohjanmaalla aluesuunnittelussa puuston keskitilavuus oli noin 5 m^3/ha pienempi kuin inventoinnin vastaava luku. Aluesuunnittelun peittävyys oli noin 50–70 %. Tulosten kuviokohtaista tarkkuutta selvitetään parhaillaan.

Uuden monilähteisen VMI:n tietotuotanto

Uudella valtakunnan metsien inventoinnilla saavutetaan seuraavia etuja:

1. VMI:n tärkeimpien muuttujien estimaatit saadaan joka pisteeseen koko maassa. Prosessoinnissa saadaan lisäksi kaikki VMI:n tulokset erillisille laskentayksiköille, esim. kunnat, metsätilat.
2. Muutosten, esimerkiksi hakkuiden seuranta paranee alueellisesti ja ajallisesti, missä apuna ovat myös pysyviksi perustetut VMI-koealat.
3. Tulkintatulos on numeerisena ja yhtenäiskoordinaatistoon sidottuna 25 × 25 m kuvaelementin koolla. Se on siirrettävissä muiden käyttäjien tietojärjestelmiin.
4. Inventoinnin tulosta voidaan käyttää lähtötietona tai otantakehikkona muissa tutkimuksissa.

Satelliittikuvapohjaista metsävaratietoa on tuotettu vuodesta 1989 lähtien. Tavoitteena on saada vuoden 1993 loppuun mennessä paikkaansidotut metsävaratiedot valmiiksi koko Etelä-Suomesta ja Kainuun metsälautakunnasta sekä koko maasta vuosikymmenen puoliväliin mennessä.

Monilähteisessä inventoinnissa saadaan taulukkomuotoiset tulokset kaikista VMI:n muuttujista halutun kokoiselle laskentayksikölle. Tähän asti peruslaskentayksiköitä ovat olleet kunnat, joille on laskettu metsävaratiedot taulukkoina. Jatkossa on tarkoitus siirtyä pienempiin laskentayksikköihin, esim. metsätiloihin.

VMI:n tärkein tietotuote on numeerinen tulkintakuva, jossa on 20–25 tärkeintä VMI maastomuuttujaa 25 × 25 m kuvaelementtikoossa.

Seuraavassa on esimerkki Keski-Suomen metsälautakunnan joistakin tulostiedoista. Syöttötiedot olivat: TM kuvat 188/16 ja 17 90-06-21, maastomittaukset 1991 ja numeerinen karttatieto.

1) boniteetti = 'verokasvu' (yksikkö = 0,1 m^3/ha/v, suot +100)
2) harsuuntuminen asteikolla 1–7 (VMI-ohjeet)
3) keski-ikä

puuston runkotilavuus (yksikkö = 2 m^3/ha)

4) mänty yhteensä
5) mäntytukki
6) mäntykuitu

7) kuusi yhteensä
8) kuusitukki
9) kuusikuitu

10) koivu yhteensä
11) koivutukki
12) koivukuitu

13) muu puulaji yhteensä
14) muu puulaji tukki
15) muu puulaji kuitu

kasvu (0,1 m^3/ha/v)

16) kokonaiskasvu
17) männyn kasvu
18) kuusen kasvu
19) koivun kasvu
20) muiden puulajien kasvu

Edellä esitettyjen 'vakiotuotteiden' lisäksi voidaan asiakkaan toiveiden mukaan laskea muita teemoja. Kaikkiaan VMI-maastotiedoissa on noin 200 muuttujaa. Kokonaan uutta tietoa voidaan tuottaa yhdistämällä muuta kuin VMI-tietoa tulkintatulokseen. Esimerkiksi puuston tilavuustiedoista ja kantohinnoista on laskettavissa puuston hakkuuarvo. Tulokset esitetään kuvamuodossa tai taulukkoina halutuille osa-alueille – kunta, tila, metsikkökuvio.

Satelliittikuvapohjaisen VMI:n tietotuotannon suurin yksittäinen erillishanke on ollut maapohjan boniteettikartoitus veroluokitusta varten. Luokitus tehtiin käyttäen erotteluanalyysiä. Luokitettujen kuntien maapinta-ala oli 1,5 milj. ha. Muita tehtyjä tuotteita ovat suuralueen tulkintatulos puunhankinnan tietojärjestelmän osaksi ja vanhojen metsien kartoitus sekä paperille vedostetut kunnittaiset teemakartat.

Monilähteinen inventointi käyttää DISIMP-kuvankäsittelyohjelmistoa ja tehdyt luokitukset ovat arkistoituna DISIMP-formaatissa VAX/VMS-käyttöjärjestelmässä DAT-nauhoilla. Tulkintatulokset ovat saatavissa rasterimuotoisina DISIMP-kuvina tai paperille tulostettuna. Tarvittaessa kuvatieto voidaan muuntaa vektoriformaattiin (ARC/INFO). Paperikartat tulostetaan VERSATEC 8960 elektrostaattisella tulostimella tilaajan haluamassa mittakaavassa.

Kirjallisuus

Tomppo, E. 1991 Satellite Image-Based National Forest Inventory of Finland. Julkaisussa: Proceedings of the symposium on Global and Environmental Monitoring, Techniques and Impacts, September 17–21, 1990 Victoria, British Columbia Canada. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 28, Part 7-1: 419–424.

— 1992. Satellite Image Aided Forest Site Fertility Estimation for Forest Income Taxation. Tiivistelmä: Satelliittikuva-avusteinen metsien kasvupaikkaluokitus metsäverotusta varten. Acta Forestalia Fennica 229. 70 s.

Paikkatietojärjestelmien virhelähteistä

EERO MATTILA

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
EMAIL Eero.Mattila@metla.fi

Johdanto

Kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien yhteys

Paikkatietojärjestelmien tehtäviä ovat tietojen keruu, varastointi, manipulointi, analysointi ja havainnollinen tulostus. Järjestelmän osia ovat tietokoneohjelmisto, laitteet, tietokanta ja niitä käyttävät ihmiset. Järjestelmän tietokannassa on paikkatietoja ja niihin liittyviä ominaisuustietoja. Paikkatiedot ovat samaan koordinaatistoon sidottuja digitaalisia karttoja ja kuvia. Ominaisuustiedot kuvaavat paikkaan sidottujen kohteiden ominaisuuksia. Paikkatietojärjestelmän perustamiskustannuksista 70–80 % aiheutuu tietokannan koostamisesta. Suurin käyttökustannuserä koituu henkilöstön palkkauksesta ja koulutuksesta.

Paikkatietojärjestelmät ja kaukokartoitus ovat kaksi teknologiaa, joiden odotetaan yhdessä ratkaisevan monia luonnonvarojen kartoitukseen ja seurantaan liittyviä ongelmia. Kaukokartoitusta tehdään sekä lentokoneista että satelliiteista. Ilmakuvia on käytetty karttojen valmistuksessa puoli vuosisataa. Paikkatietojärjestelmiin digitoidut kartat ovat siis epäsuorasti jo yhdistäneet nämä teknologiat. Pääosa ilmakuvista syntyy vielä analogiamuodossa, joten ne on digitoitava ennen paikkatietojärjestelmään liittämistä. Ilmakuvien digitointi jälkikäteen aiheuttaa aina lisäkustannuksia ja informaatiohäviötä.

Organisaation perinteinen tietojärjestelmä saattaa toiminnallisesti muistuttaa paikkatietojärjestelmää. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat metsätalouden suunnittelu ja järjestely siihen liittyvine

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 27–41.

asiakirjoineen (Griess 1990). Tietojen kokoaminen tietokannaksi ja niiden käsittely tietokoneavusteisesti edistää metsätalouden inventointi-, suunnittelu- ja seurantatehtäviä (Bitter 1992). Käytännön syistä siirtyminen paikkatietojärjestelmään on yleensä toteutettava asteittain. Operaatio vaatii huolellista suunnittelua, koska pelkkä tietokannan kokoaminen kestää vuosia (Jordan 1993). Siirtymävaiheen pituus riippuu organisaation koosta ja tietokannan rakenteesta. Metsällisen paikkatietojärjestelmän luonti alkaa metsäkarttojen digitoinnilla, joka jatkuu koko suunnittelukauden, mikäli vanhoja karttoja ei digitoida. Tietokannan päivitys alkaa periaatteessa heti siirtymävaiheen alussa. Vaikka onkin välttämätön, tietokannan luonti kuitenkin on vain yksi vaihe siinä prosessissa, jonka lopullisena tavoitteena on toimiva metsätalouden suunnittelun paikkatietojärjestelmä (Crain & MacDonald 1983).

Luonnonvarasatelliittien aikakausi alkoi parikymmentä vuotta sitten. Satelliittikuva syntyy suoraan digitaalisessa muodossa, mikä helpottaa sen yhdistämistä paikkatietojärjestelmään. Luokitustarkkuus ja erotuskyky ovat huonommat kuin ilmakuvilla, mikä on aiheuttanut sovellutusongelmia. Satelliittikuvan tulkintatulos tulisi sovittaa yhteen muiden järjestelmän tietokerrosten kanssa, mikä asiallisesti merkitsee kuvan kaksivaiheista luokitusta. Paikkatietojärjestelmän kuva-, kartta- ja korkeustietoja voidaan käyttää aputietoina satelliittikuvan luokituksessa ja luokituksen viimeistelyssä (Hutchinson 1982). Usein luokitustulos lisätään tietokantaan uudeksi tietokerrokseksi. Näin syntyy kaksipuolinen kanssakäyminen, joka hyödyttää sekä kaukokartoitusta että paikkatietojärjestelmää (Howard 1991, s. 229).

Kaukokartoitusta ja paikkatietojärjestelmiä ovat eräät pitäneet jopa tulevaisuuden 'big science'-aloina (Jackson ym. 1986). Mulder (1986) arveli paikkatieto- ja asiantuntijajärjestelmiä käytettävän hyväksi kaukokartoituksessa 1980-luvun lopulla. Verstappen (1987) katsoi paikkatietojärjestelmiä tarvittavan runsaiden topografisten ja temaattisten kaukokartoitustietojen hyödyntämisessä. Ehlers ym. (1989) pitivät integraationa tarpeellisena ja kuvailivat sen kolmivaiheisena kehitysprosessina. Kuvatulkinnassa käytetään 1990-luvulla Ryersonin (1989) mukaan asiantuntija- ja paikkatietojärjestelmiä sekä mikrotietokoneita, mutta lisäksi myös visuaalisen analyysin merkitys on keskeinen. Leckie (1990) piti eri tietojen yhdistämistä paikkatietojärjestelmien kautta kaukokartoituksen menestymisen edellytyksenä metsätaloudessa. Singh (1990) piti tärkeänä, että lisätietojen sisältö ja merkitys tunnetaan hyvin, kun niitä käytetään hyväksi digitaalisen satelliittikuvan tulkinnassa.

Digitaalisten kuvien käsittelyohjelmistojen nopea kehitys on edistänyt kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien integraatiota. Osana paikkatietojärjestelmää toimii yhä yleisemmin kuvankäsittelyohjelmisto tai erillinen kuvankäsittelyohjelmisto on tehty yhteensopivaksi jonkin paikkatietojärjestelmän kanssa. Raja kau-

kokartoituksen, paikkatietojärjestelmien ja kartoituksen välillä on hämärtynyt, kun nämä teknologiat ovat lähestyneet toiminnallisesti toisiaan. Alunperin kaukokartoitus on selvästi tiedonhankintaa ja paikkatietojärjestelmät tiedonhallintaa. Parker (1988) korostaa kaukokartoituksen roolia vain yhtenä paikkatietojärjestelmien tietolähteenä. Hänen mielestään kaukokartoitustietoja pitäisi nimittää apu- eli lisätiedoiksi. Fisher & Lindenberg (1989) pitivät asiallisesti oikeimpana vuorovaikutusmallia, missä kaikki kolme teknologiaa ovat samanarvoisia ja kaikki kohtaavat toisensa pienellä osa-alueella (three-way interaction -malli).

Integrointisovelluksia luonnonvarojen kartoituksesta

Jo 1980-luvun alussa Hutchinson (1982) toi esiin paikkatietojärjestelmistä saatavien lisätietojen käyttömahdollisuudet digitaalisen kuvan luokituksessa. Häme (1984) esitteli monilähteisen veroluokitusmenetelmän, johon kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien yhteiskäyttö olisi soveltunut erinomaisen hyvin. Alaskassa tehtiin 1980-luvulla monilähteinen kasvillisuuden ja maaston kartoitus menetelmällä, jossa käytettiin hyväksi myös digitaalisia tietoja (Shasby & Carneggie 1986). Tässäkään yhteydessä ei vielä mainita paikkatietojärjestelmiä, vaikka ne ilmeisesti olivat kartoituksessa ainakin epäsuorasti mukana. Suoria kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien integrointisovelluksia alkaa esiintyä maaperä- ja kasvillisuuskartoituksissa 1980-luvun lopulla. Sovellukset ovat lisääntyneet voimakkaasti vasta 1990-luvulla.

Kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien integraatiosovellusten aiheina on ollut mm. maankäyttöluokitus (Treitz ym. 1992), maaperäluokitus (Middelkoop ym. 1989), kasvillisuusluokitus (Cibula & Nyquist 1987, Chamignon & Maniere 1990, Lucas ym. 1990, Bolstad & Lillesand 1992a, 1992b), puulajiluokitus (Olesen 1991), metsikköboniteetin arviointi (Cook ym. 1989), puuston arviointi (el Deen 1991, Heist & Kooiman 1992), puustopääoman muutoksen arviointi (Maclean ym. 1992), ympäristön ja kasvillisuuden seuranta (Cihlar ym. 1989, St-Laurent ym. 1990), maaperän ja pohjaveden saastumisalttiuden arviointi (Thunnissen ym. 1992), hyönteistuhot (Chamignon & Maniere 1990), kasvillisuuden tuhoutuminen (Price ym. 1992) ja maaston kolmiulotteinen visualisointi (Murai ym. 1992). Metsätaloudellisia sovelluksia Indonesiasta mainitaan maankäytön suunnittelu, metsävarojen seuranta ja metsäteiden suunnittelu (Susilawati & Weir 1990). Eliasson (1991) kuvailee Ruotsissa kehitettyä integraatiosovellusta, jota voidaan käyttää myös varsinaiseen metsätalouden suunnitteluun. Kanadassa New Brunswickissa on rakennettu ja ylläpidetty nimenomaan metsätalouden suunnittelua palvelevaa paikkatietojärjestelmää 1980 luvun alkupuolelta lähtien (Jordan 1993).

Entisessä Neuvostoliitossa on ollut automaattista kartoitusta, mutta kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien suorat integrointisovellukset puuttuivat sieltä vielä 1990-luvun alussa (Solntseva & Tikunov 1991).

Edellä mainituissa esimerkeissä käytetyt satelliittikuvat ovat yksinomaan Landsat- ja SPOT-satelliiteista. Satelliittikuvan spektrinen luokitus kärsii maaston topografiasta, joka vaikuttaa kohteen heijastusominaisuuksiin. Luokitustarkkuus on parantunut selvästi käyttämällä topografiatietoja muista lähteistä apuna luokituksessa (Cibula & Nyquist 1987, Cook ym. 1989, Lucas ym. 1990). Paikkatietojärjestelmien tietojen käyttö satelliittikuvan luokituksessa saattaa muodostaa tiedonhallintaongelman. Tähän on etsitty ratkaisua kokeilemalla asiantuntijajärjestelmien päättelysääntöjen käyttöä luokituksessa (Middelkoop ym. 1989, Bolstad & Lillesand 1992a, 1992b). Maastokohteiden paikannustarkkuus vanhoilla kartoilla ja ilmakuvilla on huono. GPS (Global Positioning System) antaa mahdollisuuden määrittää satelliittikuvalta näkyvien kohteiden sijainti riittävällä tarkkuudella. Tätä tekniikkaa ovat käyttäneet el Deen (1991) ja Treitz ym. (1992). Kasvillisuuden muutoksia voidaan yrittää kartoittaa moniaikakuvamenetelmällä, missä verrataan eri aikoina syntyneitä kuvia keskenään. Moniaikakuvamenetelmää ovat käyttäneet Maclean ym. (1992) ja Price ym. (1992) vaihtelevalla menestyksellä.

Paikkatietojärjestelmiä voidaan käyttää alueellisten ilmiöiden analysointiin ja mallitukseen. Van Heist & Kooiman (1992) tutkivat polttopuutilannetta eräällä alueella Botswanassa biomassakartan ja väestötietojen avulla. Biomassakartan laadinnassa käytettiin Landsat MSS-kuvaa. Väestötietoina olivat taajamien sijainti ja väkiluvut. Tilannearvio syntyi vertaamalla polttopuun tarvetta sen määrään ja kasvuun, kun keruusäteeksi oletettiin 10 kilometriä. Thunnissen ym. (1992) selvittivät maaperän ja pohjaveden saastumisalttiutta Hollannissa. Alttius riippuu suuresti maankäytöstä ja kasvillisuudesta, jonka kartoittamiseen käytettiin Landsat TM-kuvamateriaalia. Muina vaikuttavina tekijöinä mallissa ovat maaperä, hydrologia, ilmasto ja saasteet, joita koskevat tiedot kerätään yhteen eri tietolähteistä.

Tällä hetkellä on meneillään suurehkoja hankkeita, joissa hyödynnetään kaukokartoitusta ja paikkatietojärjestelmiä. Trooppisten sademetsien digitaalista karttaa koostetaan eräässä YK:n alaisessa instituutiossa (Jaakkola 1990). Toteutuessaan kartan kattavuus on yli miljardi hehtaaria. Yhdysvaltain metsäkartan laadintaan tähtäävä työ alkoi 1990 (Zhu & Evans 1992). Metsäala USA:ssa on 300 miljoonaa hehtaaria. USDA Forest Service, joka hoitaa USA:n kansallismetsiä (maa-ala 80 milj. ha), aloitti paikkatietojärjestelmien perustamisen 1988 (Lachowski ym. 1992). Kahdessa ensiksi mainitussa hankkeessa käytetään sääsatelliittikuvia (NOAA AVHRR). Forest Service käyttää Landsat- ja SPOT-satelliittikuvia sekä myös ilmakuvia.

Lähitulevaisuus

Uuteen teknologiaan kohdistuvat odotukset ovat usein liian suuret. Tämä kävi toteen ensimmäisen sukupolven luonnonvarasatelliittien kohdalla, koska niiden erotuskyky ei ollut riittävä korvaamaan ilmakuvia käytännön sovellutuksissa. Toisen sukupolven satelliittien, joita ovat Landsat 4 ja 5 sekä SPOT, arveltiin tekevän läpimurron niiden olennaisesti parempien ominaisuuksien ansiosta. Erotuskyvyn lisääntyminen oli kuitenkin osin näennäistä ja suuresti kasvanut datamäärä on vaikeuttanut sen analysointia ja hallintaa. Yleensä dataa on pystytty keräämään paljon enemmän kuin on ollut valmiuksia sen täysimääräiseen hyödyntämiseen. Uudet tutkasatelliitit lisäävät tietovirtaa edelleen. Nyt paikkatietojärjestelmien oletetaan olevan ratkaisu tähän tiedonhallintaongelmaan.

1990-luvulla kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien välistä vuorovaikutusta pidetään jo itsestään selvänä. Green (1992) luettelee tähän kehitykseen myötävaikuttaneina tekijöinä satelliittikuvien, tietokoneiden ja ohjelmistojen parantumisen, karttojen tarkkuuden arvioimismenetelmien kehityksen ja alan koulutuksen lisääntymisen. Käytännön sovelluksille on ominaista poikkitieteellisyys ja eri tietolähteisiin kohdistuva suuri tutkimustarve (Fabbri 1992). Tulevaisuudessa digitaalisten tietojen saatavuus paranee, laitteet ja ohjelmistot kehittyvät edelleen, digitaalisten paikkatietojen päivitys kaukokartoituksen avulla lisääntyy ja virheisiin tullaan kiinnittämään kasvavaa huomiota (Estes 1992).

Paikkatietojärjestelmien tekniikka on hallinnassa, mutta vanhojen karttojen ja kuvien epätarkkuus muodostaa 'informaatio-ongelman' (Boulton 1989). Tulos ei voi olla parempi kuin syöttötiedot, mistä jokaisen tietojärjestelmän käyttäjän tulisi aina olla tietoinen. Epäonnistumisien positiivisena seurauksena on aloitettu järjestelmien kriittinen uudelleenarviointi, joka sisältää myös luotettavuutta koskevat selvitykset. Paikkatietojärjestelmien potentiaaliset virheet ovat aiheellisesti kasvavan huomion kohteena. Perustamisvaiheessa usein yliarvioidaan laitteiden ja ohjelmien roolia järjestelmässä henkilöstön ja tietokannan kustannuksella. Osaaminen ja tietokannan sisältö ovat kuitenkin ratkaisevassa asemassa käyttövaiheessa. Seuraavassa tarkastelussa pääpaino on käyttövaiheen virhelähteissä ja niistä erityisesti tietokannan sisältövirheissä. Tavoitteena on selventää virheiden luokittelua sekä kuvailla virheiden mittaustapoja ja tunnuslukuja.

Virhelähteet

Paikkatietojärjestelmän perustaminen on investointi, josta aiheutuvat kustannukset tulisi kattaa järjestelmän tuotoilla tietyn ajan

sisällä. Perustamispäätöstä tulee edeltää huolellinen kustannushyötyanalyysi. Välitön kustannuserä, laitteiston ja ohjelmiston hankintamenot, on vain 20–30 % kokonaiskustannuksista. Suunnittelun painopisteen tuleekin olla tietokannan luonnissa, ylläpidossa ja päivityksessä. Tähän liittyvät erottamattomasti henkilöstön toimenkuvaa ja koulutusta koskevat kysymykset, joiden onnistunut ratkaisu on toimivan järjestelmän edellytys pitkällä tähtäimellä. Hankkeen alirahoitus, tietokannan heikkoudet, työtehtävien huono määrittely ja koulutuksen puute voivat aiheuttaa viivytyksiä ja ehkäistä paikkatietojärjestelmän täysimääräisen hyväksikäytön (Winyoopradist & Hunter 1992).

Uuteen teknologiaan on usein investoitu hatarin perustein varsinaista suorittavaa ja asiantuntevaa henkilöstöä kuulematta. Tästä seurauksena on hankkeen jonkinasteinen epäonnistuminen. Varoittavia esimerkkejä löytyy satelliittikuvien hyödyntämisen alueelta (Meyer & Werth 1990).

Paikkatietojärjestelmän käytössä syntyvät virheet voidaan jakaa käyttäjän tekemiin virheisiin, prosessointivirheisiin ja tietokannan sisältövirheisiin (Congalton & Green 1992, s. 17). Käyttäjän tulee olla tietoinen niistä tietokannan ominaisuuksista, jotka vaikuttavat ongelmien muotoiluun ja ratkaisuun. Vanhentuneet tiedot ja väärä mittakaava voivat antaa harhaanjohtavia tuloksia. Aineiston alueellinen epäedustavuus heikentää aina tulosten käyttökelpoisuutta. Aineisto voi olla myös epärelevanttia käsillä olevan ongelman ratkaisuun. Esimerkiksi ilma- tai satelliittikuvalta tehty kasvillisuusluokitus on johdettu eli epäsuora tietokerros, joka ei ole maastossa suoritetun luokituksen veroinen. Käyttäjän on tunnettava hyvin tietokannan sisältö ja tietojen merkitys virheiden välttämiseksi. Koulutus ja kokemus vähentävät tämän virhetyypin esiintymistä.

Paikkatietojärjestelmän laitteet ja ohjelmat aiheuttavat prosessointivirheitä. Lukujen esitystarkkuus tietokoneessa on rajallinen. Interpoloidut ja varsinkin ekstrapoloidut tiedot ovat epävarmoja menetelmästä riippumatta. Karttojen ja kuvien saattaminen digitaaliseen muotoon synnyttää virheitä, joiden suuruus riippuu laitteiden erotuskyvystä. Paikkatietojen tallennus- ja esitysmuotoon (rasteri vs. vektori) liittyvät ongelmat on tiedostettu varhaisessa vaiheessa. Muutoksia muodosta toiseen on tehtävä ja ne aiheuttavat aina virheitä (Estes 1992, s. 5, Congalton & Green 1992, s. 18). Näiden virheiden tuntemus ei ole riittävä. Sijainti- ja pintaalavirheet siirryttäessä vektorimuodosta rasterimuotoon ovat sitä suurempia mitä karkeampi rasteri on (Valenzuela & Baumgardner 1990).

Tietokannan sisältövirheet voidaan jakaa tila- ja ominaisuusvirheisiin. Edellinen liittyy paikkatietoihin ja jälkimmäinen ominaisuustietoihin. Bolstad & Smith (1992) tarkastelevat asiaa saman pääjaotuksen pohjalta käyttäen ilmaisuja 'positional accuracy' ja 'attribute accuracy'. Seuraavassa tarkastelussa käytetään termiä

'tilavirhe' eikä 'paikkavirhe' tai 'sijaintivirhe'. Pisteen ainoa paikkatieto on sen sijainti jossakin koordinaatistossa. Janan sijainnin ja pituuden eli koon määrää kaksi pistettä. Käyrää viivaa voidaan likimain kuvata toisiinsa liittyvien janojen eli murtoviivan avulla. Murtoviivan sulkeutuessa muodostuu monikulmio. Tilan käsite kattaa sijainnin, koon ja muodon, mikä on ollut peruste tilavirhetermin valinnalle.

Paikkatietojärjestelmien tilavirheet

Maaston ja sitä esittävien digitaalisten mallien vertailu paljastaa tilavirheitä, joita voi syntyä kaikissa työvaiheissa. Kohteen muoto- ja kokovirheet syntyvät pääosin maastotyövaiheessa. Paikannustarkkuus maastossa riippuu työn tarkoituksesta ja kohteen laadusta. Tarkin tulos saavutetaan geodeettisin menetelmin selvien maastokohteiden kartoituksessa. Toista äärilaitaa ilmeisesti edustaa metsäkuvioiden kartoitus. Tulevaisuudessa paikannustarkkuus paranee, kun GPS-laitteet yleistyvät kentällä. GPS käyttää signaaleja useasta satelliitista sijainnin määritykseen. Teoreettinen tarkkuus on muutamia senttimetrejä, mutta käytännössä tarkkuus muodostunee muutamaksi kymmeneksi metriksi (Gibbons 1992, s. 1255).

Kartan tarkkuuteen vaikuttavat ilmakuvan geometria, maastotyö ja piirtäminen. Kartan piirrustusvaiheessa piirtoviivan paksuus ja mutkien oikominen aiheuttavat tilavirheitä. Valmiin kartan epäsymmetrinen venyminen ja supistuminen vääristävät kartan informaatiota. Tilatarkkuus huononee, kun kartta tai ilmakuva digitoidaan ja se viedään tietokannan koordinaatistoon. Kartan manuaalisessa digitoinnissa syntyy virheitä samasta syystä kuin karttaa piirrettäessä. Mukaan tulevat myös prosessointivirheet, jotka mainittiin jo edellä. Digitoitu kartta tai kuva ja suoraan digitaalisena syntyvä kuva on oikaistava paikkatietojärjestelmän koordinaatistoon. Koordinaattimuunnoksessa syntyy tilavirheitä, joista seuraavassa hieman enemmän.

Muunnosta varten valitaan kontrollipisteitä ja määritetään niiden koordinaatit molemmissa koordinaatistoissa. Koordinaattien määrityksessä tulee virheitä. Valitaan muunnosfunktio, jonka muoto riippuu mm. kontrollipisteiden määrästä. Funktion parametrit lasketaan kontrollipisteiden koordinaateista. Oikaisufunktiota sovelletaan kaikkiin oikaistavan kartan tai kuvan pisteisiin kontrollipisteet mukaan lukien. Muunnoksen tarkkuutta kuvataan RMS-virheen (Root Mean Square) avulla, joka lasketaan kontrollipisteiden 'todellisten' ja funktiolla laskettujen koordinaattien eroista. Odotusarvoisesti 68 % siirrettävistä pisteistä osuu enintään RMS-virheen ilmaiseman matkan päähän 'oikeasta' paikasta uudessa koordinaatistossa. Virheen suuruus riippuu kontrollipisteiden edustavuudesta ja muunnosfunktion muodosta. Kontrolli-

pisteiden koordinaattien määritysvirheet eivät sisälly RMS-virheeseen.

Satelliittikuvan oikaisu käyttäjän koordinaatistoon tapahtuu myös kontrollipisteiden avulla. Suomen olosuhteissa Landsat TM -kuvan RMS-virheeksi muodostuu 0.5–1.0 kuvaelementtiä (15–30 metriä). Paikkatietokerroksia yhdistettäessä niiden tilavirheet kumuloituvat. Jos virheet eivät riipu toisistaan, RMS-virheiden neliöt voidaan laskea yhteen ja summan neliöjuuri on uuden kerroksen RMS-virheen estimaatti. Kun Lapissa verrattiin koealojen sijaintia ilmakuvilla ja samaan koordinaatistoon oikaistulla Landsat TM -kuvalla, RMS-virhe oli 62 metriä (Mattila 1992, s. 28). Jos oikaisun RMS-virhe on 30 m, kaikkien muiden virheiden yhteisvaikutus on 54 m. Tästä suuri osa ilmeisesti aiheutuu yhtenäiskoordinaatistoa kuvaavan kaavion sijaintivirheistä ilmakuvilla.

Ilma- ja satelliittikuvia liitetään paikkatietojärjestelmiin yhä enenevässä määrin. Kun ilmakuvan keskusprojektio muutetaan ortoprojektioksi, mittakaava tulee keskimäärin samaksi koko kuvalla. Tämä korjaus on välttämätön tarkoissa ilmakuvakartoituksissa. Ilmakuvassa on geometriavirheitä kallistumasta (poikkeama pystykuvasta) ja maaston korkeusvaihtelusta johtuen. Bolstad (1992) on simuloinut näiden tekijöiden vaikutusta sijainti- ja pinta-alatarkkuuteen. Sijaintivirhe kasvaa kallistuman ja korkeuserojen kasvaessa, mutta pienenee mittakaavan kasvaessa. Myös suhteellinen pinta-alavirhe kasvaa korkeuserojen ja kallistuman kasvaessa, mutta on mittakaavasta ja kuviokoosta riippumaton.

Virheiden suuruudesta johtuen Bolstad (1992, s. 379) varoittelee monoskooppisesta ilmakuvatulkinnasta mittakaavaan ollessa pienempi kuin 1 : 20 000 tai korkeuserojen ollessa suuria. Hänen mielestään tämä on erityisen tärkeätä, kun tulkintatulos liitetään paikkatietojärjestelmään tai tavoitteena on tarkka pinta-alojen arviointi. Ilmakuvan oikaisu ja stereotarkastelu poistavat kallistuman ja korkeusvaihtelun vaikutukset. Ilmakuvan geometristen virheiden korjausmenetelmät ovat olleet jo pitkään tiedossa, mutta käytännössä usein osa korjauksista lyödään laimin (Bolstad & Smith 1992, s. 25). Satelliittikuviin tehdään automaattisesti tiettyjä geometriakorjauksia ennen käyttöönottoa.

Paikkatietojärjestelmään liitetyn kartan tai kuvan tilavirheiden lopullista suuruutta voidaan selvittää maastovertailulla. Valitaan joukko selviä pisteitä, joiden koordinaatteja paikkatietojärjestelmässä verrataan maastossa määritettyihin koordinaatteihin. Sijaintieroista lasketaan RMS-virhe, jota yleisesti käytetään kartan tarkkuuden tunnuslukuna. Menettely yliarvioi sijaintitarkkuutta, koska aineistona on vain selvästi erottuvia maastopisteitä. Menetelmä ei paljasta virheen rakennetta eli sitä, miten eri työvaiheet ovat myötävaikuttaneet virheen syntymiseen.

Koko- ja muotovirheiden kvantifiointi maastossa on hankalaa. Niistä voidaan tehdä päätelmiä pisteiden sijaintivirheiden perus-

teella. Vertaaminen muihin ilmakuviin tai karttoihin jättää niiden omat tilavirheet tarkastelun ulkopuolelle. Monikulmioiden kokotarkkuuden tunnuslukuja ovat pinta-alaerojen keski-arvo, hajonta, harha ja riippuvuus monikulmion koosta. Yhden kuvion muotovirhettä voidaan kuvata ns. epsilon-vyöhykkeen avulla. Vyöhykkeen leveys määritellään sellaiseksi, että kuvion oikea raja kulkee pääosin (esim. 95 % rajapisteistä) vyöhykkeen sisällä (Chrisman 1982, Dunn ym. 1990). Kuviojoukon muototarkkuudelle ei ole esitetty yksiselitteistä tunnuslukua. Hyvä yleiskäsitys saadaan visuaalisella tarkastelulla esimerkiksi erotuskuvan avulla. Sotkas ym. (1992) käyttivät luokittaista vastinkuvioiden lukumäärää ja pinta-alaa satelliittikuvaluokituksen muototarkkuuden kuvailuun.

Paikkatietojärjestelmien ominaisuusvirheet

Kohteiden ominaisuuksista kerätään tietoja maastossa ja kuvatulkinnalla. Ominaisuusvirheet jaetaan muuttujien mitta-asteikon mukaan kvantitatiivisiin ja temaattisiin virheisiin. Kvantitatiivisia virheitä syntyy paitsi maastossa ja kuvatulkinnassa myös laskennassa ja tietoja yleistettäessä. Viimeksi mainittu virhelähde on sitä tuntuvampi, mitä vaihtelevampaa ympäristöä yritetään kuvata vektorimuotoisessa tietokannassa. Hyvä esimerkki on epätasainen metsäkuvio, jonka sisällä puuston määrän ja rakenteen vaihtelu on suurta. Kvantitatiiviset virheet ovat helposti todettavissa maastotarkistuksin, joiden perusteella lasketaan erojen keskiarvo ja hajonta sekä harha.

Temaattinen eli kvalitatiivinen virhe, joka paremmin tunnetaan luokitusvirheenä, liittyy nominaali- ja ordinaaliasteikkojen muuttujiin. Luokitustarkkuuden selvittämiseksi laaditaan virhematriisi. Tarkastelussa olevat kohteet (koealat tai kuviot) taulukoidaan matriisiin kartalla näkyvän tai kuvalta tulkitun luokan ja maastossa todetun oikean luokan perusteella. Virheettömät kohteet tulevat matriisin halkaisijalle. Yleensä tarkasteluun valitaan objektiivinen näyte, joka tekee tulosten tilastollisen analyysin mahdolliseksi. Näytteen valintaa ja tarkkuuden arviointia on käsitelty lukuisissa tutkimuksissa (esim. Hord & Brooner 1976, Ginevan 1979, Hay 1979, Rosenfield & Melley 1980, Aronoff 1982, Rosenfield 1982, Congalton ym. 1983, Congalton & Mead 1986, Story & Congalton 1986, Congalton 1988, Dicks & Lo 1990, Congalton 1991, Sotkas ym. 1992, Stehman 1992). Saman maastonäytteen kohteilla voidaan luonnollisesti mitata myös kvantitatiivisia virheitä.

Kuvan liittäminen paikkatietojärjestelmään edellyttää tietoa sen temaattisesta tarkkuudesta. Luokitustarkkuuden arviointi tulisi aina tehdä ainakin osittain maastossa. Maastotyökään ei ole vapaa luokitusvirheistä. Satelliittikuvan vertaaminen yksinomaan ilmakuvaan tai karttaan, mikä käytäntö on ollut yleinen, ei anna oikeata käsitystä tarkkuudesta. Dicks & Lo (1990) kuvailevat verifiointi-

menetelmän, mikä perustuu sekä ilmakuvavertailuun että maastotarkistuksiin. Thunnissen ym. (1992) toteavat digitaalisen verifiointikartan antavan väärän kuvan luokitustarkkuudesta mm. tilavirheiden takia.

Virhematriisista voidaan laskea erilaisia luokitustarkkuutta kuvaavia tunnuslukuja (Congalton 1991). Hallitsevaan asemaan on noussut Cohenin (1960) esittämä Kappa-kerroin. Sitä voidaan hyvin käyttää myös eri virhematriisien vertailemiseen, kuten Congalton & Mead (1983) ja Mattila (1985) ovat osoittaneet. Kappa-kertoimia voidaan laskea erilaisia eri tarkoituksiin. Sotkas ym. (1992) määrittelevät kaksi kerrointa yksittäiselle luokalle, toinen yli- ja toinen alikartoitusta varten. Virhematriisia voidaan käyttää myös luokkien pinta-ala- ja osuus-estimaattien kalibrointiin (Dymond 1992, Czaplewski & Catts 1992). Dymond (1992) esittää myös yhtälön kalibroidun pinta-alaestimaatin RMS-virheen arvioimiseen. Conese & Maselli (1992) osoittavat, kuinka virhematriisin informaation käyttö maximum likelihood -luokitusalgoritmissa voi parantaa ohjatun satelliittikuvaluokituksen tulosta.

Johtopäätöksiä

Paikkatietojärjestelmät ja kaukokartoitus lisäävät merkitystään luonnonvarojen suunnitelmallisessa hoidossa ja käytössä. Asiantuntijajärjestelmien tuella tehtävät päätelmät ja päätökset eivät edellytä kaikkien asiaan liittyvien tietojen yksityiskohtaista hallintaa. Tiedonhallinnan tehostuminen tekee yhä suurempien tietomäärien hyödyntämisen mahdolliseksi. Mutta näiden uusien teknologioiden potentiaaliset hyödyt eivät toteudu, elleivät taustalla olevat paikka- ja ominaisuustiedot ole riittävän luotettavia. Tietojen oikea käyttö edellyttää eri virheiden tuntemusta ja lisääntyvää koulutusta.

Paikkatietojärjestelmän käyttäjän tulee olla tietoinen tietokannan tietojen luotettavuudesta, koska se vaikuttaa ongelman asetteluun ja ratkaisuun sekä johtopäätöksiin tila-analyysissä. Tulos ei voi olla luotettavampi kuin sen taustalla olevat tiedot.

Paikkatietojärjestelmän tietojen käyttökelpoisuus riippuu eri virhetyyppien yhteisvaikutuksesta. Yksin ilmakuvien huonon geometrian johdosta vanha kartta tai kuva voi olla niin epätarkka, että sen digitoiminen paikkatietojärjestelmään on kyseenalaista. Tietojen vanhentuminen lisää sekä tila- että ominaisuusvirheitä. Vanhojen tietojen käyttökelpoisuus on syytä harkita tapauskohtaisesti uuteen paikkatietojärjestelmään siirryttäessä. Tietokannan jatkuvalla päivityksellä on mahdollista hidastaa tietojen vanhentumista. Koko tietokerroksen ajoittainen uusinta on kuitenkin välttämätöntä ainakin paikkatietojen osalta. Tätä edellyttää myös tietokannan rakenteellinen uusiminen.

Digitaalisten kuvien käyttö paikkatietojärjestelmän tietokerroksina tulee kasvamaan mm. kustannussyistä. Tämä edellyttää lisääntyvää yhteistyötä kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien asiantuntijoiden välillä. Paikkatietojärjestelmien käyttäjät eivät ole aina ymmärtäneet varsinkaan satelliittikuvan merkitystä oikealla tavalla. Kaukokartoituksen edustajien mielestä kuva on sovitettava muihin paikkatietokerroksiin interaktiivisen prosessin kautta, mikä lähestymistapa paikkatietojärjestelmien edustajille on vieraampi. Paikkatietokerrosten hierarkinen järjestys, joko eksplisiittinen tai implisiittinen, vaikuttaa sovitusprosessin kulkuun. Yksi hierarkiaan vaikuttava seikka on luotettavuus.

Paikkatietojärjestelmän tietoja voidaan käyttää aputietoina satelliittikuvaluokituksessa. Niitä ei saisi käyttää luokituksen varsinaisena tukiaineistona, kuten ennen on paljonkin tapahtunut. Toinen virheellinen käytäntö on ollut verrata luokitusta paikkatietojärjestelmän tietoihin ikäänkuin ne olisivat oikeita. Näin on saatu harhaanjohtavia tuloksia, jotka mahdollisesti ovat hidastaneet tai ainakin vaikeuttaneet alan kehittymistä. Satelliittikuvan luokitustulos voidaan liittää uudeksi tietokerrokseksi paikkatietojärjestelmään. Näin syntyy ns. johdettu tietokerros, jota ei saa käyttää ikäänkuin oikeata, maastossa tehtyä luokitusta.

Tarkkuusanalyysin tulisi olla osa paikkatietojärjestelmän ylläpitoa. Analyysin kohteena ovat käyttäjät, koneet ja laitteet sekä varsinkin tietokanta. Tuotteen vertailu maastotodellisuuden kanssa paljastaa eri virhelähteiden yhteisvaikutuksen, mikä käyttökelpoisuuden kannalta on olennaisinta. Maastotyön suuret kustannukset ovat uusien tekniikoiden käyttöönoton pääkannustin luonnonvaratutkimuksissa. Kustannuksia voidaan alentaa maastotyön integroinnilla. Tämä tarkoittaa eri tehtävien suorittamista samalla maastokäynnillä samojen henkilöiden toimesta. Esimerkiksi satelliittikuvaluokituksen tukiaineiston mittauksen yhteydessä kannattaa samalla kerätä aineistoa luokituksen tarkkuuden arviointia varten. Integroitu tiedonkeruu edellyttää suunnittelun ja koulutuksen lisäämistä.

Paikkatietojärjestelmien yleistyessä niiden tarkkuuden määrittäminen objektiivisella ja yhdenmukaisella tavalla tulee yhä tarpeellisemmaksi. Järjestelmän tuotteille asetettavat tarkkuustavoitteet riippuvat käyttötarkoituksesta. Tarkkuusstandardit helpottavat tuotteiden vertailua ja hinnoittelua. Tarkkuuden osoittaminen ja sen selkeä kytkentä hintaan edistäisivät paikkatietojärjestelmien kehitystä. Teknologia on suhteellisen uusi, varsinkin kaukokartoituksen yhteydessä, joten tarkkuutta koskeva laatuajattelu on vasta viriämässä. Toistaiseksi painopiste on ollut tuotteen ulkonäössä, ei tarkkuudessa.

Kirjallisuus

Aronoff, S. 1982. Classification accuracy: a user approach. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 48(8): 1299–1307.

Bitter, A. 1992. Ein flächenbezogenes Betriebsinformationssystem als Hilfsmittel für Inventur, Planung und Kontrolle im Forstbetrieb. Julkaisussa: Sloboda, B. 1992. Zuwachsmess- und Auswerttechniken, klimaorientierte Wachstumsmodelle, Inventurmethoden und ihre Anwendungen. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 106: 134–147.

Bolstad, P. 1992. Geometric errors in natural resource GIS data: tilt and terrain effects in aerial photographs. Forest Science 38(2): 367–380.

— & Lillesand, T. 1992a. Improved classification of forest vegetation in northern Wisconsin through a rule-based combination of soils, terrain, and Landsat Thematic Mapper data. Forest Science 38(1): 5–20.

— & Lillesand, T. 1992b. Rule-based classification models: flexible integration of satellite imagery and thematic spatial data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58(7): 965–971.

— & Smith, J. 1992. Errors in GIS. Assessing spatial data accuracy. Journal of Forestry 90(11): 21–29.

Boulton, A. 1989. Will supermaps solve the Forest Service's planning problems? Forest Watch, March 1989. s. 24–28.

Chamignon, C. & Maniere, R. 1990. Forest cover type mapping and damage assessment of Zeiraphira diniana by SPOT 1 HRV data in the Mercantour National Park. International Journal of Remote Sensing 11(8): 1439–1450.

Chrisman, N. 1982. A theory of cartographic error and its measure in digital databases. Proceedings, Auto-Carto 5, s. 159–164.

Cibula, W. & Nyquist, M. 1987. Use of topographical models in a geographical data base to improve Landsat MSS classification for Olympic National Park. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 53(1): 67–75.

Cihlar, J., D'Iorio, M., Mullins, D. & St-Laurent, L. 1989. Use of satellite data and GIS for environmental change studies. Proceedings national conference on GIS, Ottawa, s. 933–943.

Cohen, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement 20(1): 37–46.

Conese, C. & Maselli, F. 1992. Use of error matrices to improve area estimates with maximum likelihood classification procedures. Remote Sensing of Environment 40: 113–124.

Congalton, R. 1988. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(5): 593–600.

— 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37: 35–46.

— & Green, K. 1992. The ABCs of GIS. An introduction to geographic information system. Journal of Forestry 90(11): 13–20.

— & Mead, R. 1983. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 49(1): 69–74.

— & Mead, R. 1986. A review of three discrete multivariate analysis techniques used in assessing the accuracy of remotely sensed data from error matrices. IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing GE-24: 169–174.

— , Oderwald, R. & Mead, R. 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 49(12): 1671–1678.

Cook, E., Iverson, L. & Graham, R. 1989. Estimating forest productivity with Thematic Mapper and biogeographical data. Remote Sensing of Environment 28: 131–141.

Crain, I. & MacDonald, C. 1983. From land inventory to land management: the evolution of an operational GIS. Julkaisussa: Wellar, B. (toim.). Proceedings of the sixth international symposium on automated cartography, Vol. 1: 41–50.

Czaplewski, R. & Catts, G. 1992. Calibration of remotely sensed proportion or area estimates for misclassification error. Remote Sensing of Environment 39: 29–43.

el Deen, M. 1991. The use of GIS, GPS and satellite remote sensing to map woody vegetation in Kazgail area, Sudan. ITC Journal 1991–1: 3–10.

Dicks, S. & Lo, T. 1990. Evaluation of thematic map accuracy in a land-use and land-cover mapping program. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56(9): 1247–1252.

Dunn, R., Harrison, A. & White, J. 1990. Positional accuracy and measurement error in digital databases and land use: an empirical study. International Journal of Geographic Information Systems 4: 385–398.

Dymond, J. 1992. How accurately do image classifiers estimate area? International Journal of Remote Sensing 13(9): 1735–1742.

Ehlers, M., Edwards, G. & Bedard, Y. 1989. Integration of remote sensing with Geographic Information Systems. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 55(11): 1619–1627.

Eliasson, A. 1991. Integration of satellite remote sensing in a forestry oriented GIS. Scandinavian Journal of Forest Research 6(3): 413–423.

Estes, J. 1992. Remote sensing and GIS integration: research needs, status and trends. ITC Journal 1992-1: 2–10.

Fabbri, A. 1992. Remote sensing, geographic information systems and the environment: a review of interdisciplinary issues. ITC Journal 1992-2: 119–126.

Fisher, P. & Lindenberg, R. 1989. On distinctions among cartography, remote sensing and geographic information systems. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 55(10): 1431–1434.

Gibbons, G. 1992. The global positioning system as a complementary tool for remote sensing and other applications. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58(8): 1255–1257.

Ginevan, M. 1979. Testing land-use map accuracy: another look. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 45(10): 1371–1377.

Green, K. 1992. Spatial Imagery and GIS. Integrated data for natural resource management. Journal of Forestry 90(11): 32–36.

Griess, O. 1990. Die Forsteinrichtung, ein klassisches geographisches Informationssystem. Österreichische Forstzeitung 101(4): 12–14.

Hay, A. 1979. Sampling designs to test land-use map accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 45(4): 529–533.

Heist, M. van & Kooiman, A. 1992. Modelling fuelwood availability with GIS: a case study in Botswana. ITC Journal 1992–3: 277–284.

Hord, R. & Brooner, W. 1976. Land-use map accuracy criteria. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 42(5): 671–677.

Howard, J. 1991. Remote Sensing of Forest Resources. Theory and Applications. Chapman & Hall, London. First edition. 420 s.

Hutchinson, C. 1982. Techniques for combining Landsat and ancillary data for digital classification improvement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 48(1): 123–130.

Häme, T. 1984. Landsat-aided forest site type mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 50(8): 1175–1183.

Jaakkola, S. 1990. Managing data for the monitoring of tropical forest cover: the Global Resource Information Database approach. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56(10): 1355–1357.

Jackson, M., Thomas, I. & Stewart, N. 1986. Report of a workshop on geographical information systems held in London on 13 Sebtember 1985. International Journal of Remote Sensing 7(6): 745–755.

Jordan, G. 1993. Forest management and GIS in New Brunswick (1982–1992). UNB Forestry Focus 18(1). 4 s.

Lachowski, H., Maus, P. & Platt, B. 1992. Integrating remote sensing with GIS. Procedures and examples from the Forest Service. Journal of Forestry 90(12): 16–21.

Leckie, D. 1990. Advances in remote sensing for forest surveys and management. Canadian Journal of Forest Research 20(4): 464–483.

Lucas, L., Janssen, F., Jaarsma, M. & van der Linden, E. 1990. Integrating topographic data with remote sensing for land cover classification. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56(11): 1503–1506.

Maclean, A., Reed, D., Mroz, G., Lyon, G. & Edison, T. 1992. Using GIS to estimate forest resource changes. A case study in northern Michigan. Journal of Forestry 90(12): 22–25.

Mattila, E. 1985. The combined use of systematic field and photo samples in a large-scale forest inventory in North Finland. Seloste: Systemaattisen ilmakuva- ja maastonäytteen yhteiskäyttö laajan metsäalueen inventoinnissa Pohjois-Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 131. 97 s.

— 1992. Valtakunnan metsien inventointi ja kaukokartoitus. Julkaisussa: Nikula, A., Varmola, M. & Lahti, M-L. (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437: 16–38.

Meyer, M. & Werth, L. 1990. Satellite data: management panacea or potential problem? Journal of Forestry 88(9): 10–13.

Middelkoop, H., Miltenburg, J. & Mulder, N. 1989. Knowledge engineering for image interpretation and classification: a trial run. ITC Journal 1989–1: 27–32.

Mulder, N. 1986. What, where, when..., why? Extracting information from remote sensing data. ITC Journal 1986–2: 145–155.

Murai, S., Xi, M., Viseshsin, S., Takagi, M., Honda, Y., Ochi, S. & Togunaga, M. 1992. Recent advances in 3D applications of remote sensing and GIS in Japan. ITC Journal 1992–1: 55–58.

Olesen, H. 1991. SPOT data in the digital mapping of danish forests. Scandinavian Journal of Forest Research 6(2): 227–242.

Parker, D. 1988. The unique qualities of a geographic information system: a commentary. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(11): 1547–1549.

Price, K., Pyke, D. & Mendes, L. 1992. Shrub dieback in a semiarid ecosystem: the integration of remote sensing and geographic information systems for detecting vegetation change. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58(4): 455–463.

Rosenfield, G. 1982. Sample design for estimating change in land use and land cover. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 48(5): 793–801.

— & Melley, M. 1980. Applications of statistics to thematic mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 46(10): 1287–1294.

Ryerson, R. 1989. Image interpretation concerns for the 1990s and lessons from the past. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 55(10): 1427–1430.

Shasby, M., & Carneggie D. 1986. Vegetation and terrain mapping in Alaska using Landsat MSS and digital terrain data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 52(6): 779–786.

Singh, A. 1990. Integration of Landsat digital data and ancillary data for improving automated classification of forest lands. The Indian Forester 116(1): 30–36.

Solntseva, O. & Tikunov, V. 1991. The status of geographic information systems in the USSR. ITC Journal 1991–1: 34–38.

Sotkas, P., Laaksonen, J. ja Kuittinen, R. 1992. Satelliittikuvan tulkintatarkkuuden määrittäminen. Geodeettinen laitos, tiedote 5. 46 s.

Srinivasan, A. & Richards, J. 1990. Knowledge-based techniques for multisource classification. International Journal of Remote Sensing 11(3): 505–525.

Stehman, S. 1992. Comparison of systematic and random sampling for estimating the accuracy of maps generated from remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58(9): 1343–1350.

St-Laurent, L., Dyer, J., D'Iorio, M., Mullins, D. & Cihlar, J. 1990. Ecological, climatological, and satellite data for vegetation monitoring. Julkaisussa: Proceedings 2nd national conference on GIS, Ottawa, Canadian Institute of Surveying and Mapping, s. 1553–1566.

Story, M. & Congalton, R. 1986. Accuracy assessment: a user's perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 52(3): 397–399.

Susilawati, S. & Weir, M. 1990. GIS applications in forest land management in Indonesia. ITC Journal 1990–3: 236–244.

Thunnissen, H., Jaarsma, M. & Schoumans, O. 1992. Land cover inventory in the Netherlands using remote sensing; application in a soil groundwater vulnerability assessment system. International Journal of Remote Sensing 13(9): 1693–1708.

Treitz, P., Howarth, P. & Gong, P. 1992. Application of satellite and GIS technologies for land–cover and land-use mapping at the rural-urban fringe: a case study. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58(4): 439–448.

Valenzuela, C. & Baumgardner, M. 1990. Selection of appropriate cell sizes for thematic maps. ITC Journal 1990–3: 219–224.

Verstappen, H. 1987. Remote sensing applications: an outlook for the future. ITC Journal 1987–2: 157–164.

Winyoopradist, S. & Hunter, G. 1992. Issues confronting GIS implementation in Thailand. ITC Journal 1992–3: 295–297.

Zhu, Z. & Evans, D. 1992. Mapping midsouth forest distributions. AVHRR satellite data and GIS help meet RPA mandate. Journal of Forestry 90(12): 27–30.

Paikkatietojärjestelmien käyttö luonnonsuojelualueiden perusselvityksissä – esimerkkinä Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuuskartoitus

HEIKKI EERONHEIMO

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
EMAIL Heikki.Eeronheimo@metla.fi

Johdanto

Luonnonsuojelualueiden perusselvityksiä käytetään alueen luonnon suojelun suunnittelussa, alueen opastuksessa, hoidon ja käytön suunnittelussa sekä tarkempien tutkimusten taustatietona. Perusselvityksistä esimerkkeinä mainittakoon eliölajiston ja kasviyhdyskuntien kartoitukset, geologiset perusselvitykset, ilmastotiedot, maankäytön historian, kulttuurihistorian ja maisemallisesti arvokkaiden kohteiden selvitykset (Sippola 1989).

Perusselvitykset ovat usein aikaavieviä ja kalliita. Suojelualueen runkosuunnitelmaa laadittaessa vähimmäisvaatimuksena voidaan pitää alueen kasvillisuuden ja linnuston suojelun kannalta keskeisimpien kohteiden selvityksiä sekä uhanalaisten lajien mahdollisten elinympäristöjen kartoitusta (Luonnonsuojelualueiden hoidon periaatteet 1991). Tarkempia selvityksiä tarvitaan erityissuunnitelmien laadinnan pohjaksi. Suunnitelmien tarkoituksena on suojelualueen käytöstä aiheutuvien vaikutusten minimointi.

Pääsääntöisesti perusselvitysten tekemisestä vastaa luonnonsuojelualueen hoidosta vastaava viranomainen. Viranomainen voi joko teettää ne ulkopuolisella taholla tai tehdä ne itse. Viranomaisen velvollisuutena on kuitenkin ylläpitää tarpeellisia tietoja ja tiedostoja esim. hoitamiensa alueiden perusselvitysten tuloksista (Luonnonsuojelualueiden hoidon periaatteet 1991).

Useissa perusselvityksissä käsitellään tietoa, joka liittyy tiettyyn maantieteelliseen paikkaan. Keskeisiä ovat mm. kasvillisuustyypit, kasvien kasvupaikat, lintujen pesäpaikat, historialliset kohteet,

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 42–51.

geologiset muodostumat sekä maa- ja kallioperä. Näistä kaikista kertyy laaja tietovarasto, jota on hankala hallita perinteisin menetelmin. Paikkatiedon hallintaan tarkoitetut ohjelmistot ovat ratkaisu tähän ongelmaan.

Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuuskartoitus

Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuuskartoituksen maastotyöt aloitettiin vuonna 1987 puiston pohjoispäästä (Eeronheimo & Sippola 1992, Eeronheimo ym. 1992). Kuvioiden rajausperusteena oli vallitseva kasvillisuustyyppi. Vallitsevan kasvillisuustyypin ohella kuvioilta kirjattiin pienialaiset kasvillisuustyypit ja myös muita puiston hoidon ja tutkimuksen suunnittelua palvelevia tunnuksia. Kartoituksen menetelmistä on kerrottu tarkemmin julkaisuissa Eeronheimo & Sippola (1992) ja Eeronheimo ym. (1992).

Kartoituksen maastotyöt saatiin valmiiksi kesällä 1992. Kartoittajien määrä kesää kohti vaihteli kahdesta kolmeen ja työkuukausien määrä kahdesta neljään. Kansallispuiston 510 km^2 alan kartoitukseen osallistui kuuden kartoitusvuoden kuluessa viisi henkilöä ja kenttätyökuukausia kertyi noin 20. Keskimääräinen kartoitusvauhti oli näin ollen 1,3 km^2 päivässä. Yhteensä puistosta kuvioitiin noin 4 000 kasvillisuuskuvioa.

Metsäkarttaohjelmistosta paikkatietojärjestelmään

Jo kartoitusta suunniteltaessa lähdettiin siitä, että kartta toteutetaan numeerisena. Koska paikkatietojärjestelmiä ei ollut käytettävissä kartoituksen alkuvaiheessa, kartta-aineiston tallennus aloitettiin Nalle-metsäkarttaohjelmistolla vuonna 1988. Nalle-metsäkarttaohjelmisto oli suunniteltu vektorimuotoisten karttojen, lähinnä metsätalouskarttojen, tallennukseen ja tulostukseen (Mäkeläinen 1988, 1989). Tavoitteena oli, että aineisto olisi myöhemmin siirrettävissä kehittyneempiin paikkatietojärjestelmiin.

Tiedon hallinnan helpottamiseksi kansallispuisto jaettiin viiteen karttalehteen, joilla kartoitettava pinta-ala vaihteli 62 km^2:sta 122 km^2:iin. Kartta-ohjelmistoa käytettiin digitointiin, pinta-alojen laskentaan ja teemakarttojen tulostukseen. Perusdigitointiin ohjelma soveltui melko hyvin. Digitointivirheiden paikallistaminen ja korjailu oli kuitenkin hankalaa. Karttalehtien laajuuden ja laitteiston hitauden vuoksi ohjelman käyttö oli hidasta ja virhetilanteita syntyi usein. Kuitenkin ohjelmalla pystyttiin tulostamaan teemakarttoja, joista esimerkkejä on nähtävissä mm. kartoituksen väliraportissa (Eeronheimo ym. 1992).

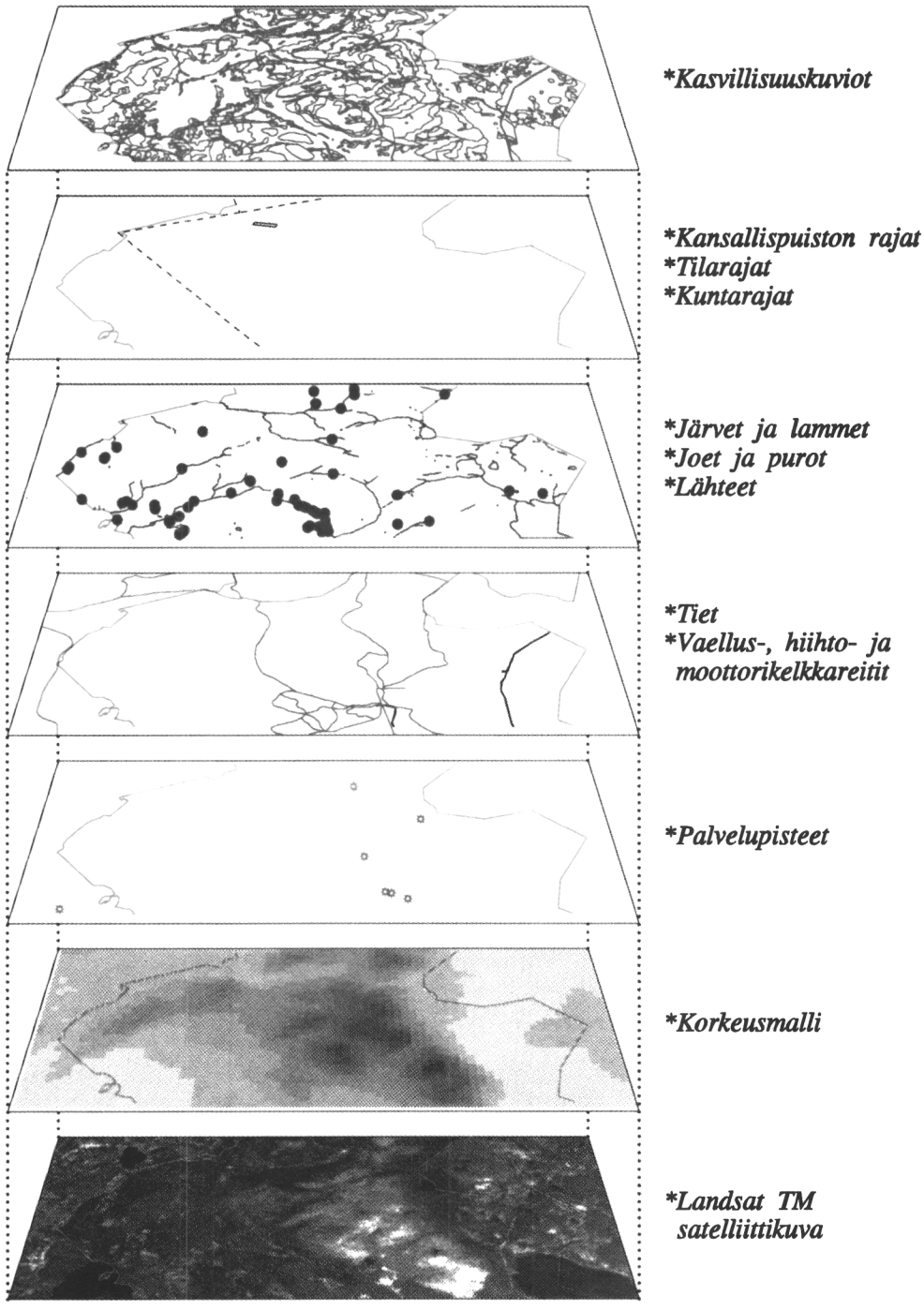
Vuonna 1991 Rovaniemen tutkimusasemalle hankittiin monipuolinen paikkatieto-ohjelmisto, ARC/INFO. Nallella digitoitu aineisto, kolmen karttalehden kasvillisuuskuvioiden rajat, siirrettiin ohjelmistolle vuoden 1992 keväällä. Tällöin luovuttiin myös Nalle-metsäkarttaohjelmiston käytöstä. Karttalehtien suuren koon vuoksi Nalle-aineistoon oli jäänyt paljon virheitä, joten aineistojen tarkistukseen kului runsaasti aikaa. Vuoden 1992 aikana suunniteltiin järjestelmän perusrakenne ja aloitettiin digitointi uudella ohjelmistolla. Vuoden 1993 aikana kehitetään karttatulosteita ja analyysimenetelmiä.

Kasvillisuustietojärjestelmä

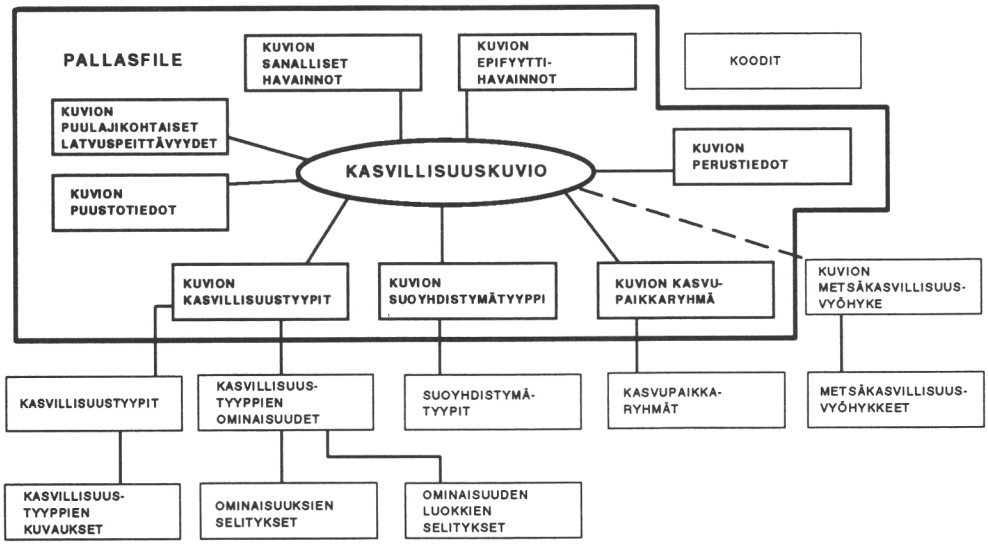
Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuustietojärjestelmä koostuu paikkatieto-ohjelmistolla ylläpidettävästä karttatiedosta ja relaatiotietokantaan tallennetuista karttatietoon yhdistettävissä olevista ominaisuustiedoista. Kartan pohja-aineisto koostuu kansallispuiston rajoista, puiston sisään jäävien yksityispalstojen rajoista, kuntien rajoista, teistä, järvistä sekä joista ja puroista, jotka on tallennettu karttatietokantaan omiksi kerroksikseen (kuva 1). Itse kasvillisuuskuvioinnissa käytetään hyväksi puiston rajoja ja vesistöjä. Kasvillisuuskartan karttalehtijako säilytettiin tietojen hallinnan helpottamiseksi. Karttalehtikohtainen kuviomäärä on 700 –1 100 (sisältää vesistöt). Kuviot ovat yksilöitävissä kuvionumeron perusteella koko puiston alueella.

Kasvillisuuskarttaan liittyvä ominaisuustieto on tallennettu paikkatieto-ohjelmiston ulkopuoliseen relaatiotietokantaan (kuva 2). Ominaisuustietoja ovat kuvion perustiedot (mm. kartoituspäivämäärä, paikan nimi, kartoittaja), kasvillisuustiedot (kasvillisuustyyppi/-tyypit, kasvupaikkaryhmä, suoyhdistymätyyppi), puustotiedot (puuston pohjapinta-ala, valtapuiden keskipituus, puulajikohtaiset latvuspeittävyydet) ja muut tiedot (mm. epifyyttijäkälien runsaus, maaston kuluneisuus, tuulenkaatojen runsaus, havainnot). Lisäksi tietokantaan on tallennettu tiedot käytetyistä luokituksista, kasvillisuustyyppien kuvauksia ja kasvillisuustyyppien ilmentämiä tekijöitä (esim. ravinteisuus, kosteus).

Paikkatieto-ohjelmiston avulla karttatieto ja relaatiotietokannan ominaisuustiedot ovat yhdistettävissä toisiinsa kuvion numeron perusteella. Vaikka ohjelma pystyy käyttämään suoraan ulkopuolisen tietokannan tietoja, tietohakujen helpottamiseksi ominaisuustiedot on kuitenkin vielä tässä vaiheessa koottu yhteen ja muunnettu paikkatieto-ohjelmiston oman tietokannan tiedostoiksi. Varsinaisena ominaisuustietovarastona käytetään kuitenkin ulkopuolista tietokantaa. Ominaisuustietoja käytetään hyväksi teemakarttojen tulostuksessa ja tietojen analysoinnissa.



Kuva 1. Esimerkkejä kansallispuiston alueen paikkatiedoista. Eri karttakerrokset on erotettu kuvassa tähdillä. Kasvillisuuskartoitushankkeessa kerättyä tietoa ovat kasvillisuuskuviointi ja lähteet, muu tieto on digitoitu olemassaolevilta kartoilta tai ostettu.



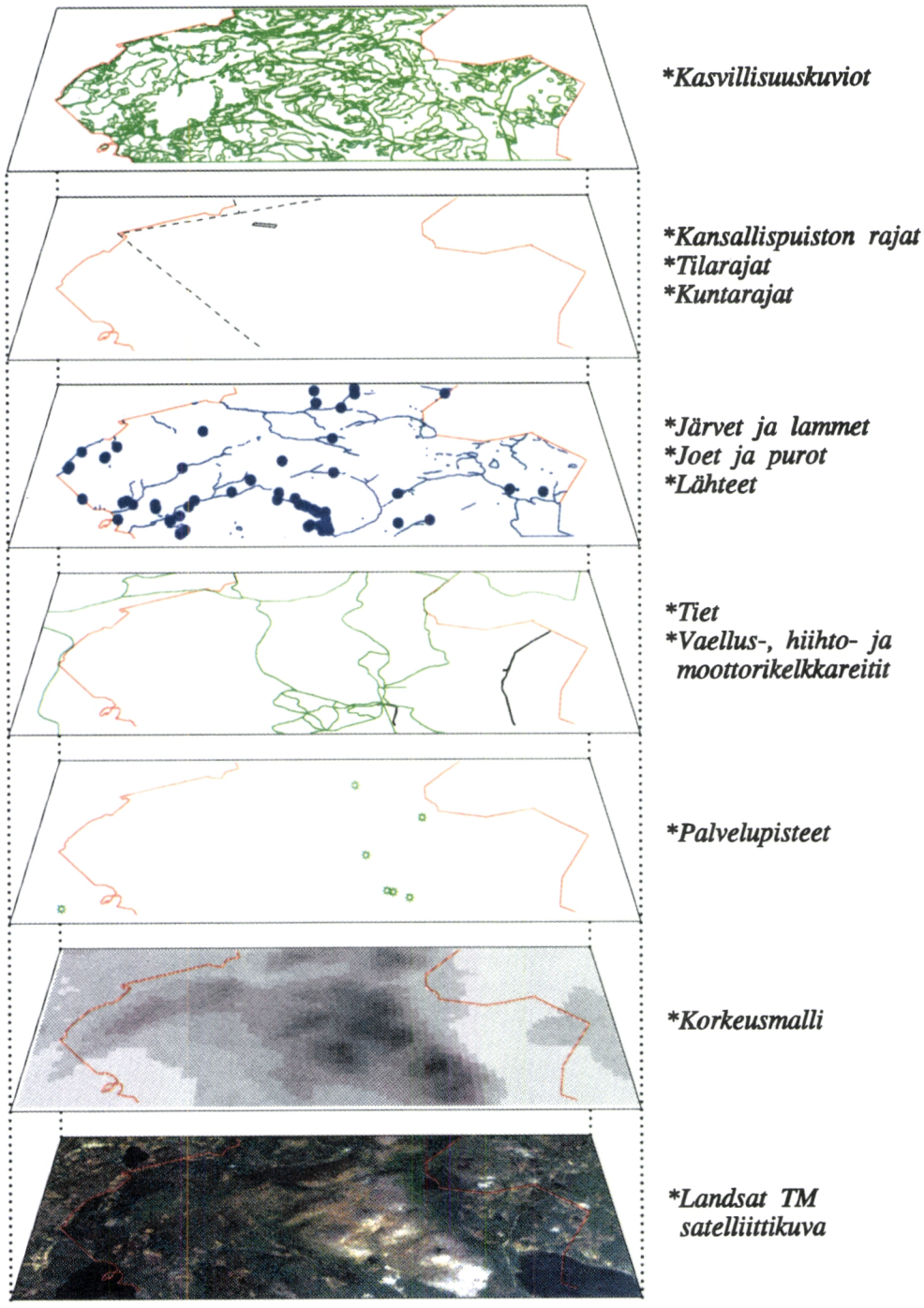
Kuva 2. Relaatiotietokantaan tallennetut kasvillisuuskuvioihin yhdistettävissä olevat kuvioiden ominaisuustiedot. Ominaisuustietoihin yhdistettävissä olevat tiedot (esim. luokitukset ja kuvaukset) on esitetty paksun viivan rajaaman alueen ulkopuolella.

Järjestelmän käyttö kasvillisuuskartoitushankkeessa

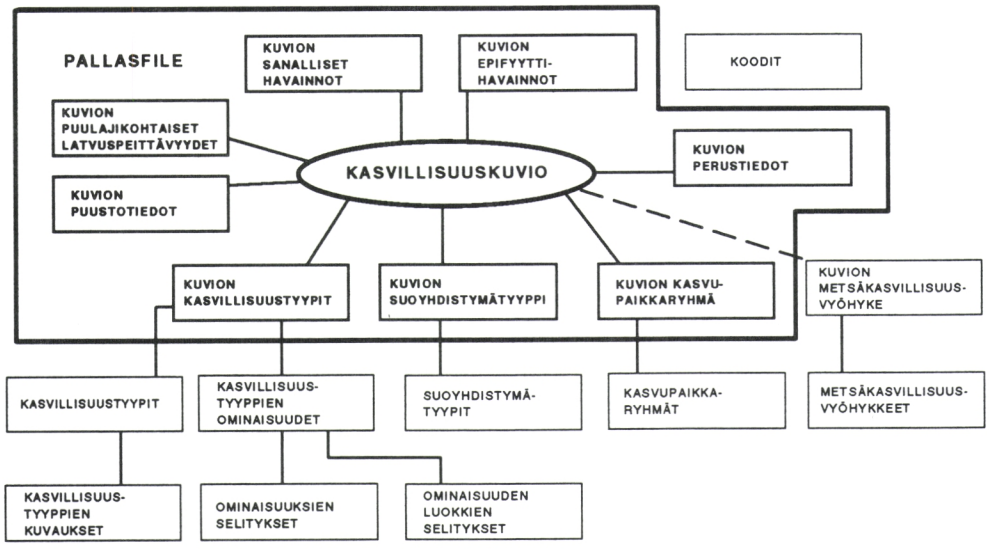
Tähän mennessä ohjelmistoja on käytetty lähinnä järjestelmän tietovaraston kokoamiseen. Ominaisuustietojen tallennus tehdään normaaleilla editoreilla tekstitiedostoiksi, joista muokataan ohjelmallisesti tietokantaan syötettävät tiedostot. Tallennuksen jälkeen tietoja voidaan muuttaa suoraan tietokannassa siihen tehdyn ylläpitosovelluksen avulla.

Kasvillisuuskarttojen tulostusasun suunnittelu on aloitettu vuonna 1993. Rovaniemen tutkimusasemalle on hankittu värikopiokone, johon yhdistetyn prosessorin avulla sillä voidaan tulostaa myös grafiikkatiedostoja. Tulostimen hyvänä puolena voidaan pitää tulostuksen nopeutta, tulosteiden värien suurta määrää ja värien vedenkestävyyttä. Haittapuolena on kuitenkin tulosteiden pienehkö koko (A3). Järjestelmän avulla karttoja voidaan tulostaa halutulla teemoituksella, halutuilta alueilta ja halutussa mittakaavassa käyttötarkoituksen tarpeiden mukaisesti. Karttojen ulkoasun suunnittelu vie kuitenkin runsaasti aikaa. Tästä syystä puistosta suunnitellaan vakiokarttasarjat kolmeen eri mittakaavaan.

Kasvillisuuskarttojen perussarja suunnitellaan mittakaavaan 1 : 20 000, jolloin yhdelle A3-arkille tulostetaan neljännes topografikarttalehden alueesta (25 km^2). Tässä mittakaavassa 38 karttalehteä kattaa koko puiston alueen (kuva 3). Mittakaavassa



Kuva 1. Esimerkkejä kansallispuiston alueen paikkatiedoista. Eri karttakerrokset on erotettu kuvassa tähdillä. Kasvillisuuskartoitushankkeessa kerättyä tietoa ovat kasvillisuuskuviointi ja lähteet, muu tieto on digitoitu olemassaolevilta kartoilta tai ostettu.



Kuva 2. Relaatiotietokantaan tallennetut kasvillisuuskuvioihin yhdistettävissä olevat kuvioiden ominaisuustiedot. Ominaisuustietoihin yhdistettävissä olevat tiedot (esim. luokitukset ja kuvaukset) on esitetty paksun viivan rajaaman alueen ulkopuolella.

Järjestelmän käyttö kasvillisuuskartoitushankkeessa

Tähän mennessä ohjelmistoja on käytetty lähinnä järjestelmän tietovaraston kokoamiseen. Ominaisuustietojen tallennus tehdään normaaleilla editoreilla tekstitiedostoiksi, joista muokataan ohjelmallisesti tietokantaan syötettävät tiedostot. Tallennuksen jälkeen tietoja voidaan muuttaa suoraan tietokannassa siihen tehdyn ylläpitosovelluksen avulla.

Kasvillisuuskarttojen tulostusasun suunnittelu on aloitettu vuonna 1993. Rovaniemen tutkimusasemalle on hankittu värikopiokone, johon yhdistetyn prosessorin avulla sillä voidaan tulostaa myös grafiikkatiedostoja. Tulostimen hyvänä puolena voidaan pitää tulostuksen nopeutta, tulosteiden värien suurta määrää ja värien vedenkestävyyttä. Haittapuolena on kuitenkin tulosteiden pienehkö koko (A3). Järjestelmän avulla karttoja voidaan tulostaa halutulla teemoituksella, halutuilta alueilta ja halutussa mittakaavassa käyttötarkoituksen tarpeiden mukaisesti. Karttojen ulkoasun suunnittelu vie kuitenkin runsaasti aikaa. Tästä syystä puistosta suunnitellaan vakiokarttasarjat kolmeen eri mittakaavaan.

Kasvillisuuskarttojen perussarja suunnitellaan mittakaavaan 1 : 20 000, jolloin yhdelle A3-arkille tulostetaan neljännes topografikarttalehden alueesta (25 km^2). Tässä mittakaavassa 38 karttalehteä kattaa koko puiston alueen (kuva 3). Mittakaavassa

1 : 50 000 yhdelle arkille mahtuu yksi viidestä kasvillisuuskartan tallennuksessa käytetystä karttalehdestä ja mittakaavassa 1 : 100 000 koko puisto (kuva 3). Pienimittakaavaisia tulosteita käytetään teemakartoissa, joissa yksityiskohtia on vähemmän kuin kasvillisuuskartassa ja joiden tarkkuusvaatimus ei ole suuri. Koska tietoa tullaan ylläpitämään jatkuvasti, kartoista on tulostettavissa aina tuorein versio ja myös haluttu määrä kopioita. Järjestelmää käytetään myös kasvillisuustietojen havainnollistamiseen yhdistämällä tiedot maastomalliin (kuva 4).

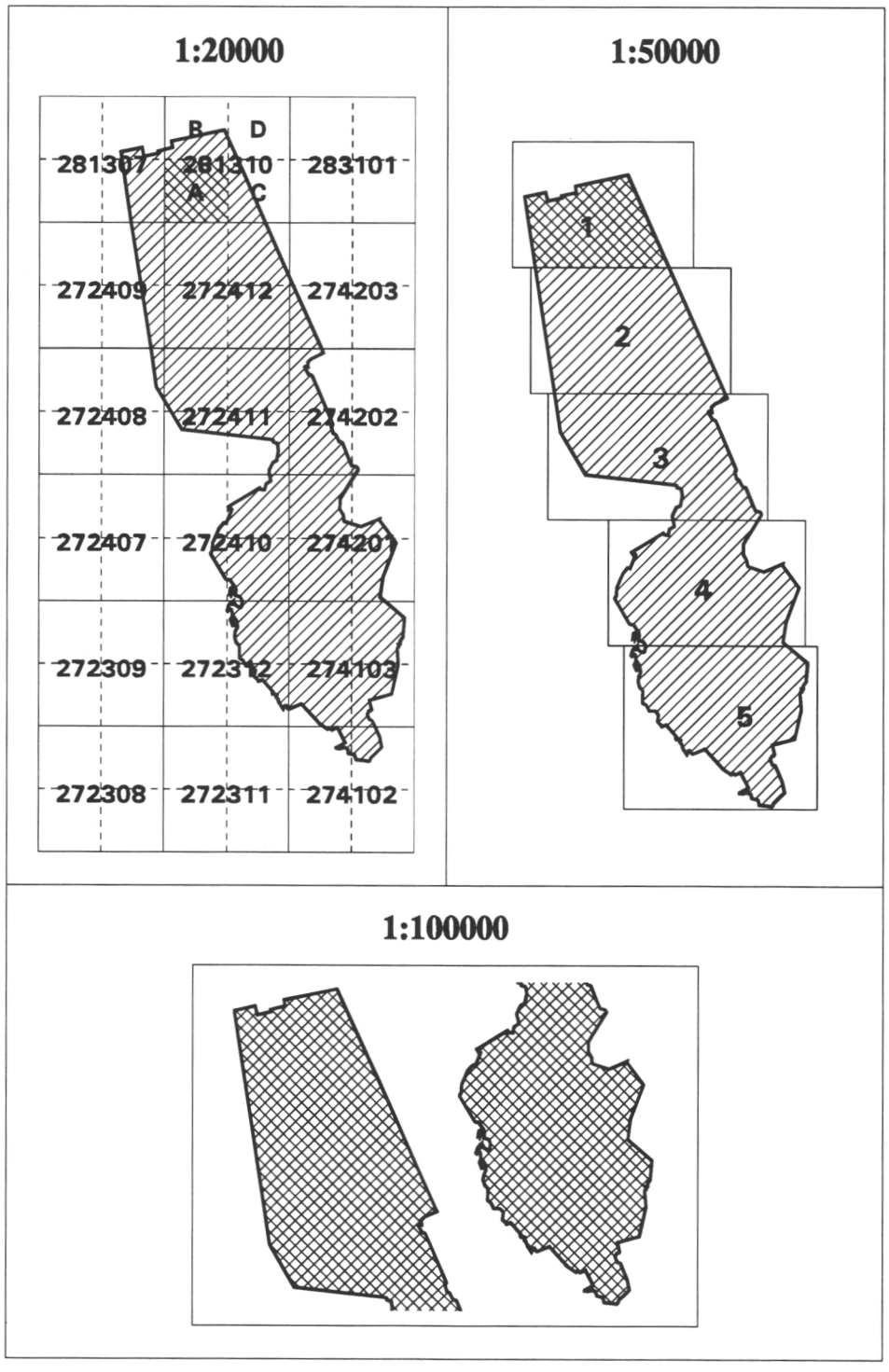
Järjestelmän avulla lasketaan perusanalyysinä kuviokohtaiset ja ominaisuuskohtaiset pinta-alat. Lisäksi tutkitaan mm. kasvillisuustyyppien ja metsänrajan sijoittumista topografisten tekijöiden suhteen ja kasvillisuustyyppien diversiteettiä erikokoisilla osa-alueilla.

Järjestelmän muita käyttömahdollisuuksia

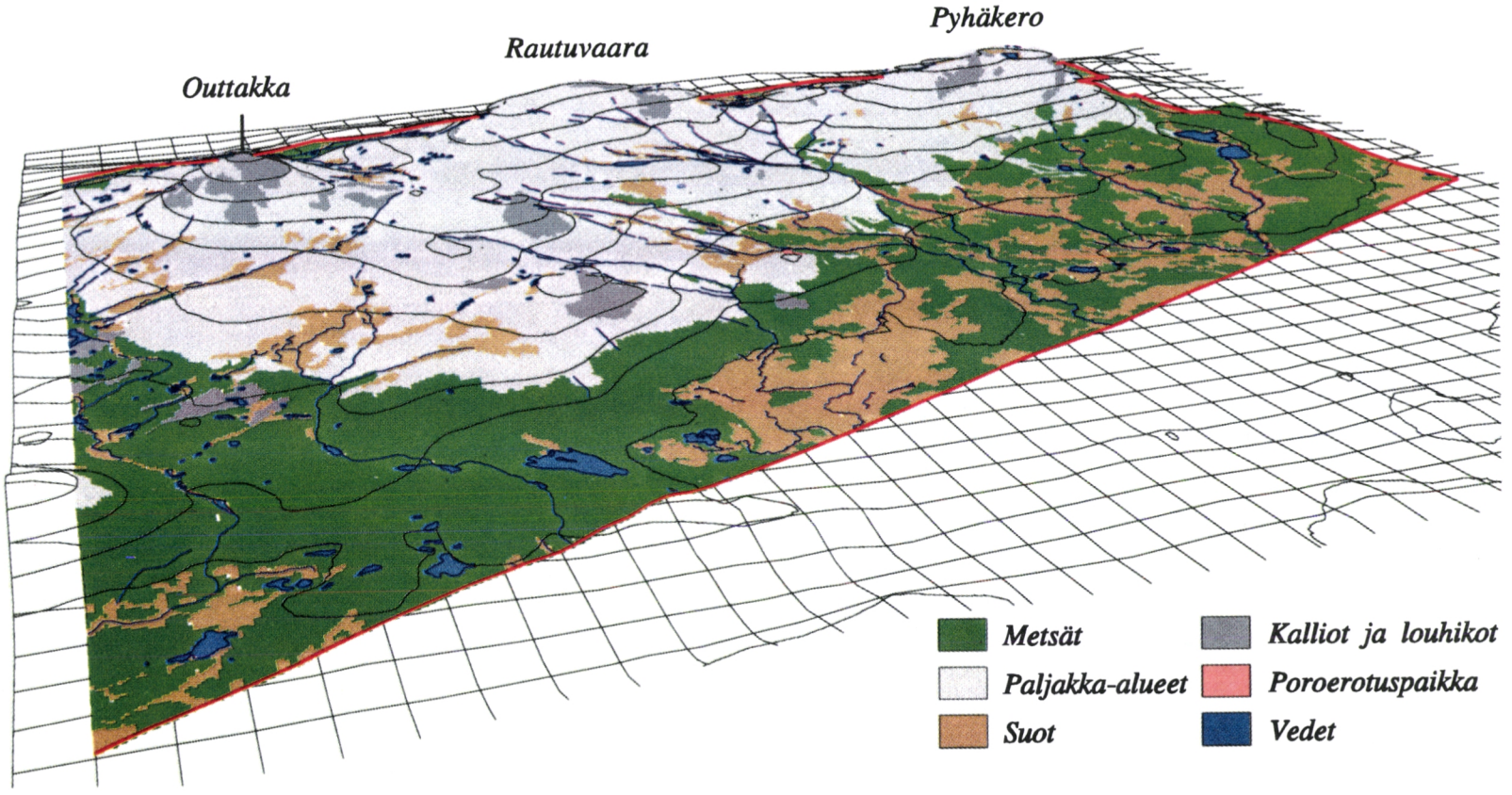
Kasvillisuuskuvointi tulee tässä vaiheessa muodostamaan kansallispuiston paikkatietojärjestelmän peruskuvioinnin. Kartoituksen yhteydessä on digitoitu myös muuta kansallispuiston ja sen lähialueen paikkatietoa, kuten alueen reitistö, palvelut (autiotuvat, nuotiopaikat, jne.) ja puiston osa-aluejaot. Lisäksi järjestelmästä käsin on käytettävissä mm. alueen maastomalli ja Landsat TM satelliittikuva (kuva 1). Järjestelmään on tarkoitus liittää myös mm. eläinten ja kasvien havaintotietoja, ilmasto-, maaperä- ja kallioperätietoja.

Tärkeimmät järjestelmän käyttöalueet tulevat olemaan tutkimus ja opastus. Aineistoa on käytetty mahdollisten koealueiden etsinnässä, mihin se antaakin erinomaiset mahdollisuudet. Kasvillisuusaineistoa on myös mahdollista käyttää vertailuaineistona mm. tutkittaessa satelliittikuvien käyttömahdollisuuksia kasvillisuuskartoituksissa (Mosbech & Hansen 1992). Yhdistämällä kasvillisuusaineistoon kasvi- ja eläinlajien esiintymistietoja voidaan muodostaa biodiversiteettitietokanta (Stoms ym. 1992). Eläinten elinympäristöjen mallintaminen on mahdollista yhdistämällä eläinten havaintotiedot esim. kasvillisuus-, korkeus-, ilmasto- ym. tietoihin (Pereira & Itami 1991, Aspinall 1992). Kokoamalla tarkat perustiedot ja järjestämällä ne käyttökelpoiseen muotoon paikkatietojärjestelmäksi METLA tarjoaa myös laitoksen ulkopuolisille tutkijoille hyvät tutkimusedellytykset luonnonsuojelualueillaan.

Opastustoiminnassa järjestelmää on käytetty opastuskarttojen teossa. Sitä voidaan käyttää myös muun opastusmateriaalin laadinnassa ja vaikkapa opastustoimintaan kehitettävien multimediasovellusten tarvitsemana tietovarastona. Kertynyttä tietoa ja järjestelmää on tarkoitus hyödyntää myös kansallispuiston hoito- ja käyttösuunnitelman teossa.



Kuva 3. Kansallispuistosta tehtävien eri mittakaavaisten vakiokarttojen karttalehtijaot. Yhdelle A3-arkille tulostettava alue on esitetty ristiviivoituksella.



Kuva 4. Yhdistämällä kuviotiedot maastomalliin voidaan tehdä perspektiivikuvia alueen kasvillisuudesta. Kuvassa Ounastunturin alue kaakosta nähtynä. Teemoituksessa kuvataan alueen kasvillisuuden yleispiirteitä. Lisäksi kuvaan on piirretty korkeuskäyrät 50 m välein.

Lopuksi

Kasvillisuuskartoitushankkeen alkaessa tavoitteena oli numeerinen kasvillisuuskartta Pallas-Ounastunturin kansallispuistosta. Uusien ohjelmistojen hankinnan myötä tavoitteet tullaan ylittämään ja tuloksena saadaan kasvillisuustietojärjestelmä, johon on talennettuna myös muuta kasvillisuuteen liittyvää tietoa.

Tietojärjestelmän käyttöä haittaa yksi paikkatiedon käyttöön yleisestikin liittyvä ongelma: käyttäjäystävällisen käyttöliittymän puute (Mark & Gould 1991). Tästä syystä paikkatieto-ohjelmistojen käyttö, niin myös Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuustietojärjestelmän käyttö, vaatii pitkälle erikoistunutta henkilökuntaa. Käyttöliittymä voidaan kuitenkin ohjelmoida itse, mutta resurssien pienuuden vuoksi tähän ei kartoitushankkeessa ole ollut mahdollisuuksia.

Kaikkia luonnonsuojelualueiden perusselvityksiä suunniteltaessa olisi otettava huomioon nykyaikaisen tietojenkäsittelyn mahdollisuudet. Aineiston keräys on suunniteltava siten, että se on tallennettavissa numeeriseen muotoon. Osana selvitystä tulee olla paikkaan sidotun aineiston tallennus alueen paikkatietojärjestelmään. Itse selvityksen saama hyöty paikkatietojärjestelmästä ei välttämättä aina ole merkittävää (esim. karttatulosteet). Kuitenkin alueen hoidosta vastaava viranomainen saa perusselvityksistä parhaan mahdollisen hyödyn, mikäli kaikkien selvitysten aineistot tallennetaan samaan järjestelmään. Tällöin niitä voidaan yhdistellä toisten jo tehtyjen ja myös tulevaisuudessa tehtävien selvitysten kanssa.

Kirjallisuus

Aspinall, R.J. 1992. Bioclimatic mapping – extracting ecological hypotheses from wildlife distribution data and climatic maps through spatial analysis in GIS. Julkaisussa: GIS/LIS `92 Annual Conference and Exposition, November 10–12, San Jose, California, Vol. I: 30–39.

Eeronheimo, H. & Sippola, A-L. 1992. Pallas-Ounastunturin numeerinen kasvillisuuskartta. Julkaisussa: Nikula, A., Varmola, M. & Lahti, M-L. (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437: 102–111.

— , Virtanen, R., Sippola, A-L., Sepponen, P., Salmela, S. & Pikkupeura, R. 1992. Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuus – Ounastunturin Pyhäkeron alue. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 427. 119 s.

Luonnonsuojelualueiden hoidon periaatteet 1991. Metsähallitus, Metsäntutkimuslaitos. Luonnosmoniste 15.10.1991. 44 s.

Mark, D.M. & Gould, M.D. 1991. Interacting with Geographic Information System: A Commentary. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 57(11): 1427–1430.

Mosbech, A. & Hansen, B.U. 1992. Comparative vegetation mapping in Jameson Land, Eastgreenland, using LANDSAT TM and SPOT satellite data compared with classical mapping using false IR-airphotos and ground truthing. Julkai-

sussa: Second Circumpolar Symposium on Remote Sensing of Arctic Environments, Tromso, May 4–6, 1992. Abstracts. The Roald Amundsen Centre for Arctic Research, University of Tromsø. s. 69.

Mäkeläinen, J. 1988. Nalle metsäkarttaohjelmiston tekninen käsikirja. Nalle-opas osa II, luonnos. Nalle v. 4.2 (C) Mh/Metla/Mmh 1988. Moniste. Metsähallitus. Helsinki. 25 s.

— 1989. Nalle metsäkarttaohjelmiston opas. Osa I. Nalle v. 4.2. (C) Mh/Metla/Mmh 1988. Moniste. Metsähallitus. Helsinki 42 s. + 5 liites.

Pereira, J.M.C. & Itami, R.M. 1991. GIS-Based Habitat Modeling Using Logistic Multiple Regression: A Study of the Mt. Graham Red Squirrel. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 57(11): 1475–1486.

Sippola, A-L. 1989. Suojelualueiden hoidon ja käytön tutkimustarpeet. Research needs for management of protected areas. Julkaisussa: Poikajärvi, H., Sepponen, P. & Varmola, M. (toim.). Tutkimus luonnonsuojelualueilla. Research activities on the nature conservation areas. Folia Forestalia 736: 12–17.

Stoms, D.M., Davis, F.W., Stine, P.A. & Borchert, M. 1992. Beyond the traditional map towards a biodiversity database. Julkaisussa: GIS/LIS `92 Annual Conference and Exposition, November 10–12, San Jose, California, Vol. II: 718–726.

Satelliittikuvien käyttö ympäristömuutoksen osoittajana – esimerkkinä Montsegorskin metsätuhoalue

KARI MIKKOLA

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
EMAIL Kari.Mikkola@metla.fi

Johdanto

Uudet kaukokartoitusmenetelmät, erityisesti luonnonvaratutkimussatelliitit (LANDSAT, SPOT, NOAA AVHRR) ovat viime vuosina parantaneet suuralueiden ympäristömuutosten seurannan mahdollisuuksia ratkaisevasti (Lillesand & Kiefer 1987, Campbell 1987). Kartoitussatelliitit kiertävät maapalloa säännöllisin väliajoin, ja saman satelliitin kuvamateriaali on tietyin toimenpitein keskenään kohtalaisen vertailukelpoista. Eriaikaisen kuvamateriaalin vertailuanalyyseillä voidaan usein kiistatta osoittaa mm. kasvillisuusmuutokset – paitsi vuotuinen fenologinen vaihtelu, myös pitemmät trendit (Singh 1989). Erityisesti ihmistoiminnan aikaansaamat muutokset (trooppisten metsien hävitys, aavikoituminen, saastetuhot) on mahdollista kartoittaa kokonaisuuksina riippumatta hallinnollisista rajoista ja rajoituksista.

Eriaikaisten satelliittikuvien välisen ajallisen vaihtelun voidaan päätellä koostuvan seuraavista komponenteista: 1) ilmakehän tilasta johtuvat erot, 2) kuvan rekisteröimisajankohdasta johtuvat erot (auringon kulma), 3) maaperän ja kasvillisuuden kosteudesta johtuvat erot sekä 4) ihmistoiminnasta (saasteet, metsien käsittely) tai luontaisista muutosprosesseista (metsäpalot) johtuvat erot maapinnan heijastamassa säteilyssä (Häme 1991). Tutkimuksellinen mielenkiinto kohdistuu useimmiten viimeksimainittuun komponenttiin. Muutosanalyysin tavoitteeksi voidaan määritellä tutkimusongelman kannalta oleellisen tiedon eristäminen muusta eriaikaisen kuvadatan sisältämästä ajallisesta ja spatiaalisesta vaihtelusta.

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 52–61.

Kasvillisuus säteilyn heijastajana ja absorboijana

Auringon säteilyn energiamäärä on suurimmillaan aallonpituusvälillä 700 –1 500 nm, joka osuu näkyvän valon ja lämpösäteilyn (infrapuna) välialueelle. Lehvästö absorboi ja heijastaa säteilyä sille ominaisella tavalla: yhteyttämispigmentit imevät tehokkaasti punaista ja sinistä aallonpituutta ja hieman vähemmän vihreää. Infrapunan absorbointi ja muuntuminen lämmöksi edellyttäisi kasveilta tehokasta jäähdytysjärjestelmää. Infrapunasäteily kuitenkin sekä läpäisee kasvisolukon että heijastuu tehokkaasti takaisin, jolloin lämpöongelmilta vältytään (Zonneveld 1988b).

Kasvillisuuden tilan mittarina on usein käytetty punaisen ja lähi-infran suhdetta, joka yksittäisiä allonpituusalueita paremmin ilmentää solukossa ja yhteyttämispigmenttien määrissä tapahtuvia muutoksia. Pienikin muutos vihreästä ruskeaan muuttaa suhdetta, ja esim. satelliittikuvista voidaan tällä menetelmällä paikantaa elinvoimaisuudeltaan alentunut kasvillisuus tai tuleentuvat viljapellot. Yleisesti käytetty suhdeindeksi on NDVI, Normalised Difference Vegetation Index (ks. esim. Vogelmann 1990):

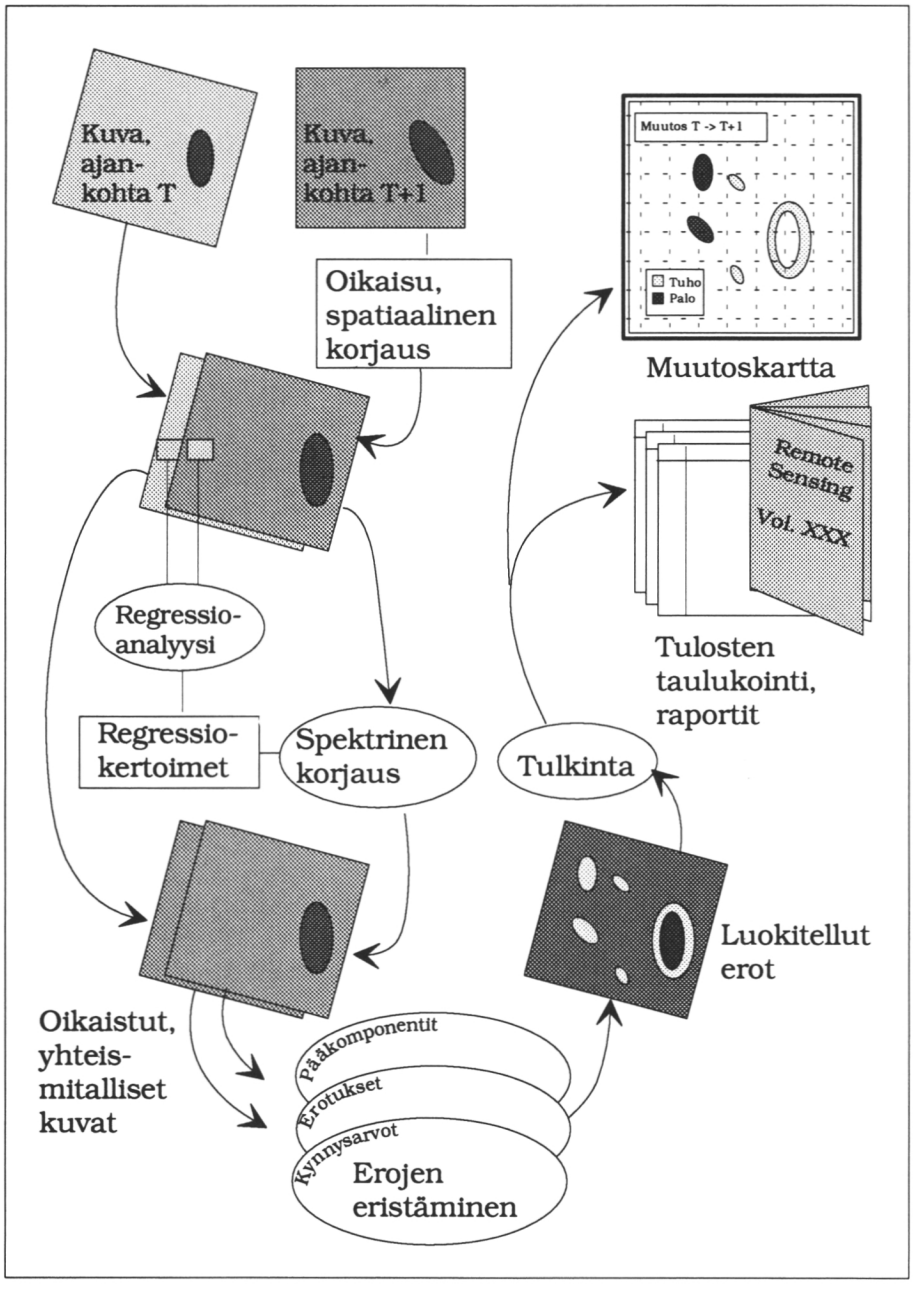
lähi-infra - punainen / lähi-infra + punainen

Eriaikaisista satelliittikuvista voidaan määrittää vastaavasti lähi-infran ja punaisen valon suhteiden (kasvillisuusindeksien) avulla kasvillisuuden tilassa tapahtuneita muutoksia (Eastman & McKendry 1991).

Paitsi kasvillisuuden kuntoa, voidaan lähi-infran ja näkyvän valon heijastuksen avulla erotella esim. lehti- ja havupuuvaltaista kasvillisuutta (Päivinen & Rautiainen 1990). Lehtipuun lehden ohuen kutikulan eristämä solukko heijastaa lähi-infraa huomattavasti havupuun paksukutikulaista neulasta tehokkaammin.

Muutosanalyysin menetelmistä

Satelliittikuvilta tapahtuvan muutosanalyysin vaiheita voivat olla eriaikaisten kuvien spatiaalinen korjaus, so. muuntaminen geometrisesti yhteensopiviksi, spektrinen korjaus, so. säteilyarvojakaumien yhteismitallistaminen, erojen eristäminen, johon on käytettävissä laaja kirjo tilastollisia ja monimuuttujamenetelmiä, erojen luokittelu ja tulkinta sekä lopuksi tulosten jalostus raporteiksi ja karttatulosteiksi (Mulder 1988, Zonneveld 1988a). Kaavio analyysin vaiheista on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Esimerkki satelliittikuvilta tehtävän muutosanalyysin työvaiheista.

Spatiaalinen korjaus

Eriaikaisten kuvien vertailu edellyttää vastinkuvaelementtien (pikselien) hyvin tarkkaa geometrista kohdistamista. Keskimääräisen kohdistusvirheen tulisi jäädä alle puoleen pikselin koosta, jotta kuvien erotusinformaatio kuvaisi todellista muutosta maastossa eikä erilaisesta kuvageometriasta johtuvaa eroa. Käytännössä kohdistaminen suoritetaan etsimällä eriaikaisista kuvista joukko täsmällisesti määritettäviä maastonkohtia, esim tienristeyksiä, ja muodostamalla tämän pistejoukon avulla oikaisuun tarvittava funktio. Kuvankäsittelyohjelmistoissa tämä toiminto on melko pitkälle automatisoitu. Oikaisun onnistumista voi testata tarkastelemalla, esiintyykö vastinkuvista lasketussa erotuskuvassa, erityisesti rajapinnoissa, systemaattista kohdistusvirhettä.

Spektrinen korjaus

Eriaikaisten kuvien spektrisiin eroihin vaikuttaa vahvasti esim. ilmakehän tilan vaihtelu. Ilman kosteus- ja pölypitoisuus ovat tärkeimpiä vaikuttajia. Myös auringon kulma, maaperän kosteus ja kasvillisuuden vuodenaikainen kehitysaste ovat tärkeitä. Vertailtavien satelliittikuvien tulisi olla peräisin mahdollisimman tarkoin saman kasvukauden vaiheesta, ellei tarkoituksena ole nimenomaan kehitysasteen vertailu.

Spektriset erot saman kuva-alan eri ajankohtien rekisteröintien välillä voivat olla luonteeltaan intensiteetistä riippumattomia (offset) tai intensiteetistä riippuvia (gain). Yksinkertaisimmin korjaus voidaan tehdä intensiteetistä riippumattomalle erolle korjaamalla jakaumaa heijastusarvojen keskiarvojen erotuksen suuruisella korjaustermillä. Intensiteetistä riipuva korjaus tehdään vastaavasti kertomalla korjattavat arvot lukujoukkojen välisen regressiosuoran kulmakertoimella. Käytännössä em. operaatiot suoritetaan laskemalla kuvien väliset regressioyhtälöt kullekin kanavalle ja yhteismitallistamalla kuvat näiden suoraviivaisten riippuvuusfunktioiden avulla. Jos muutosanalyysin kohteena on tietty maantieteellisesti määritelty alue, esim. teollisuuslaitoksen ympäristö, korjaus on laskettava "taustasta", so. todennäköisesti muuttumattomalta alueelta. Jos taas kohteena on koko kuva-alan kasvillisuus, ilmakehän vaikutusta voidaan eliminoida korjaamalla heijastusarvoja esim. kirkasvetisten ja syvien vesialueiden pikseliarvojen perusteella.

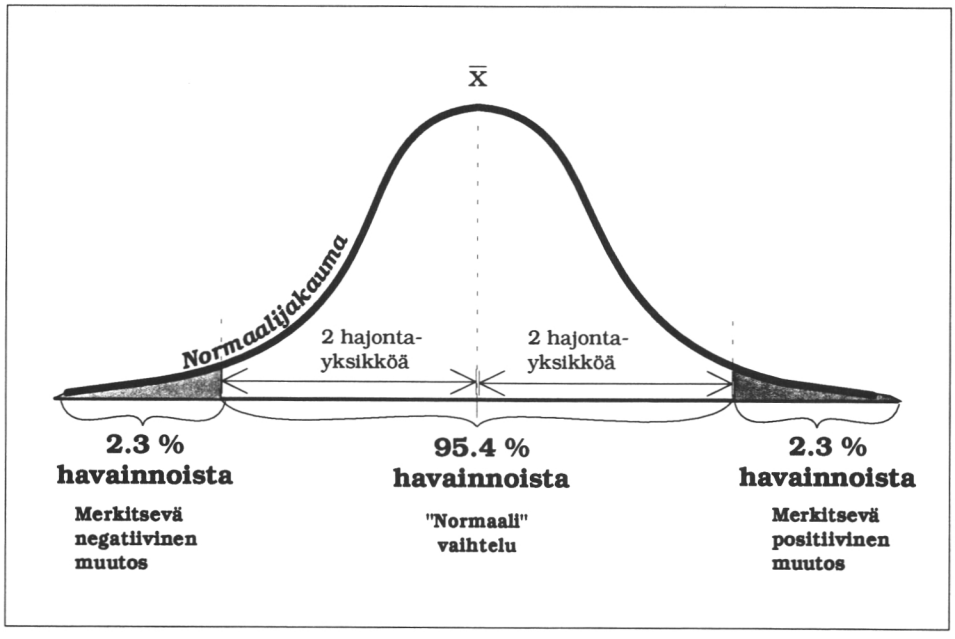
Jos regressiomenetelmää käytetään erojen tilastolliseen testaamiseen, on otettava huomioon kuvaelementtien vahva autokorrelaatio, so. lähekkäisten elementtien arvot ovat vahvasti toisistaan

riippuvia. Tällöin myös regression residuaaliarvot voivat olla vahvasti autokorreloituneita, joka sotii menetelmän perusteita vastaan (Eastman & McKendry 1991). Ongelmasta selvitään summaamalla vierekkäisiä pikseleitä, kunnes autokorrelaatio vähenee.

Erojen eristäminen

Vertailukelpoisiksi saatettujen kuvien erojen tarkasteluun on tarjolla runsas joukko eritasoisia menetelmiä. Yksinkertaisin on kanavaerotusten tarkastelu, jolloin vastinpikselien erotuksista muodostettu kuva jo kertoo ainakin selkeät eroavaisuudet. Jos painoa halutaan antaa enemmän alhaisille intensiteettiarvoille, voidaan vastaavasti yksinkertaisella jakolaskulla laskea eri vuosien vastinkanaville suhdearvot.

Tehokkaampi tapa on laskea kasvillisuusindeksien erotuksia, joiden tulkinta voi olla helpompaa. Jos halutaan rajata tilastollisesti merkitsevä muutos esim. kasvillisuusindeksien erotuksen avulla, voidaan käyttää ns. kynnysarvomenetelmää (kuva 2). Erotuskuvalle lasketaan keskiarvo ja keskihajonta, ja kuvasta rajataan esim. yli kahden hajontayksikön päässä keskiarvosta olevat erotusarvot. Jos erotuksen jakauma on normaali, voidaan ao. pikselien päätellä olevan tilastollisesti merkitsevästi muuttuneita ja ilmentävän siten maanpinnalla tapahtunutta muutosta.



Kuva 2. Kynnysarvomenetelmä erotuksen luokittelussa. Yli ja alle 2 hajontayksikköä keskiarvosta poikkeavat erotukset voidaan katsoa merkitseväksi muutokseksi.

Monimutkaisemmista menetelmistä voidaan mainita muutosvektorianalyysi, jolla voidaan tarkastella useampien kuin kahden kuvan sisältämää muutoksen suuntaa ja rakennetta. Pääkomponenttianalyysillä voidaan tehokkaasti etsiä kahden tai useamman kuvan useiden kanavien sisältämästä moniulotteisesta informaatiosta ajallista vaihtelukomponettia. Pääkomponenttianalyysi toimii varianssia maksimoiden: ensimmäinen komponentti kuvaa suurimman varianssin mukaan asetetulle suoralle projisoituja pikseliarvoja, ja tulkitaan käytännön analyyseissä useimmiten termillä "kirkkaus", eli kanaville yhteinen heijastusintensiteetti. Toinen komponentti ("vihreys") on edellisestä lineaarisesti riippumaton, ja käytännössä useimmiten kuvaa kasvipeitteen määrää. Muutosanalyyseissä, joissa eriaikaiset kuvat on yhdistetty pääkomponenttianalyysin syötteeksi, kolmas, edellisistä riippumaton komponentti voi sitten kuvata ajallista muutosta. Parhaassa tapauksessa tulos on selvä ja herkästi muutosta indikoiva, mutta voi sisältää myös menetelmästä johtuvia vääristymiä.

Monimuuttujamenetelmiin luetaan myös erityypiset ryhmittelyanalyysit, joilla pikselit kategorisoidaan tietyillä yhtäläisyyskriteereillä luokiksi. Eri ajankohtien spektrisesti mahdollisimman perusteellisesti yhteismitallistetut kuvat luokitellaan, ja vastinpikseleiden luokkaeroja ristiintaulukoidaan. Etuna on suoraan saatava kvantifioitu informaatio, esim. kuinka suuri pinta-ala metsää tietyllä alueella on palanut tai hakattu. Toisaalta tuloksen luotettavuus riippuu täysin kuvien vertailukelpoisuudesta, eikä usein ole ilman perusteellista maastotarkastusta riittävä. Lisäksi kuvasta lasketut spektriset luokat eivät läheskään aina vastaa maan pinnalla käyttökelpoisia luokituksia (Singh 1989).

Erojen tulkinta ja tulosten oikeellisuus

Ympäristömuutosten tulkinta satelliittikuvien avulla on nuori tutkimushaara. Menetelmät ovat vakiintumattomia, ja tutkimus on usein vielä pioneerityön luonteista. Esimerkiksi kynnysarvoanalyysien raja-arvojen valintaan ei ole juurikaan käytettävissä *a priori* -tietoa (Eastman & McKendry 1991). Muutoksen "merkitsevyys" on vaikeasti määriteltävä käsite. Tärkeintä on erottaa luotettavalla marginaalilla kuvien kohdistuksesta, geometrisistä virheistä, ilmakehän eroista, satelliittien kuvakeilainten epästabiilisuudesta ym. johtuva kohina varsinaisesta signaalista, maanpinnan heijasteen muutoksesta.

Kuvatulkinnan luotettavuustarkastelun tueksi olisi aina oltava käytettävissä maastotukiaineisto. Kvantitatiivinen luotettavuustarkastelu on jäänyt useissa viime aikojen tutkimuksissa puutteliseksi (Singh 1989). Käytettävissä olevat resurssit ovat usein rajalliset ja ekstensiivinen maastotyö (esim. systemaattinen otanta) on kallista.

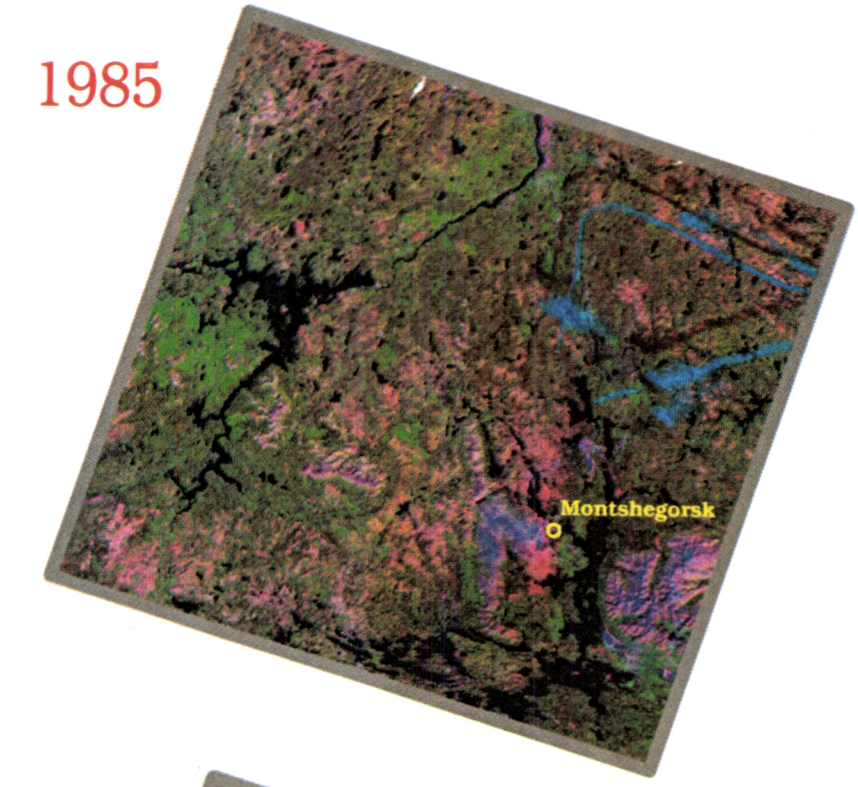
Maastoaineiston ja kuvatulkinnan tulosten ristiintaulukoinnista voidaan johtaa testisuure, ns. κ-kerroin (kappa), jonka arvoa voidaan tarkastella esim. valittaessa optimaalisia kynnysarvoja.

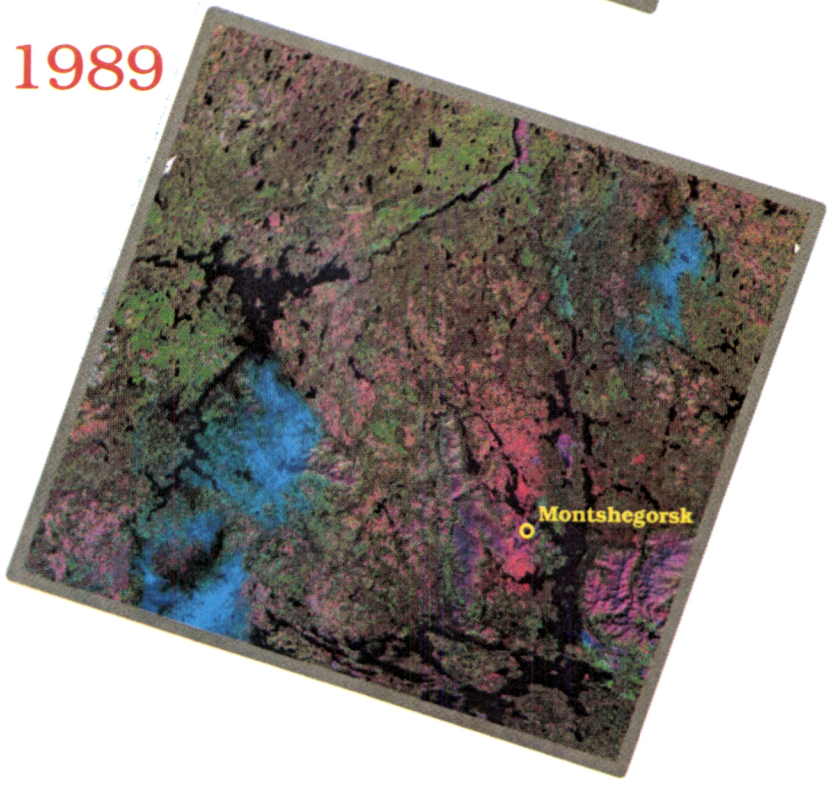
Esimerkki Montsegorskin ympäristömuutoksesta 1985–1989

Itä-Lapin metsävaurioprojektin kaukokartoitusosahankkeessa (Tikkanen & Varmola 1990, Mikkola & Ritari 1992a, Mikkola & Ritari 1992b) on alustavasti tarkasteltu Montsegorskin alueen ympäristön muutosta LANDSAT-5 kuvamateriaalin (1985 ja 1989, kuvakoodi 188–12) avulla (kuva 3).

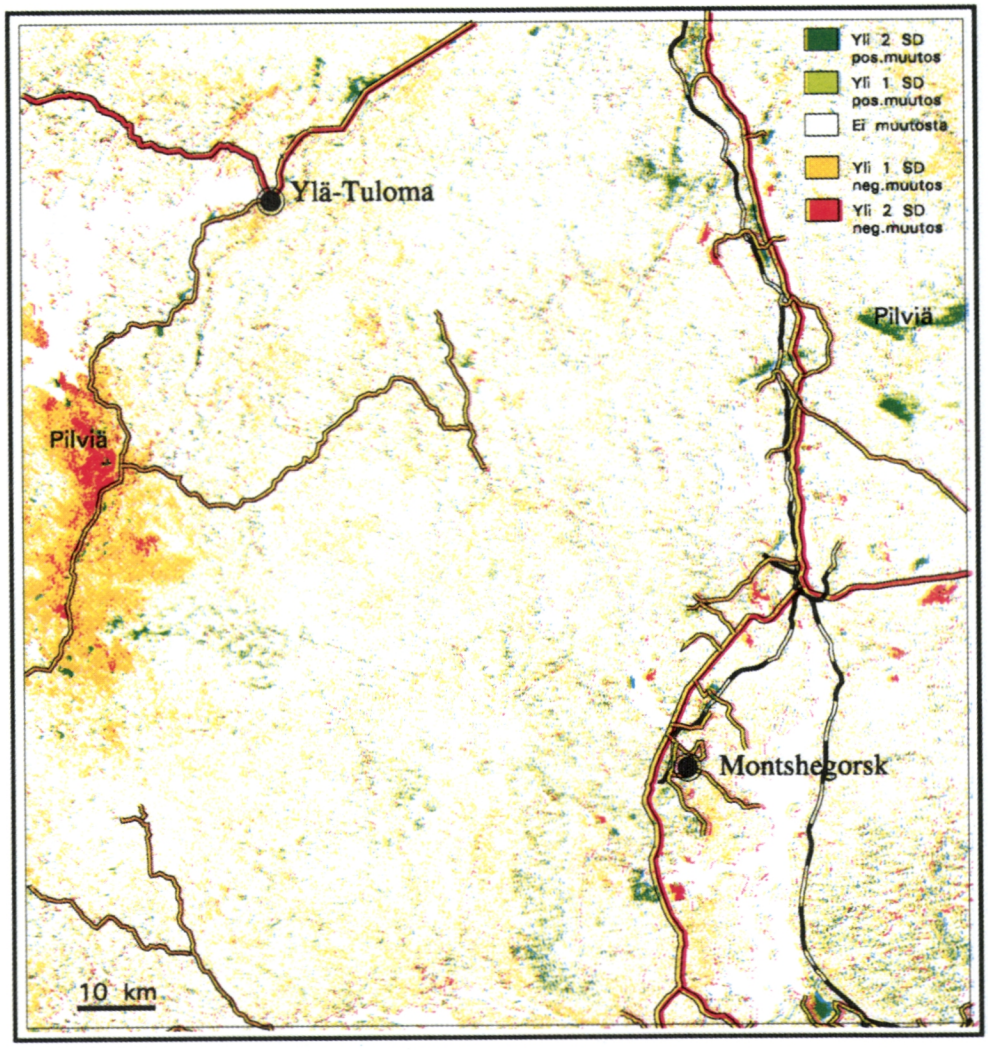
Aluksi kuvat kohdistettiin (spatiaalinen korjaus) 12 kontrollipisteen avulla, jotka valittiin selvästi kummaltakin kuvalta paikannettavista maastonkohdista. Oikaisun onnistumista mittaava RMS-testisuure (Residual Mean Square) sai arvon 0.4 pikseliä, eli geometrinen virhe jäi alle puolen pikselin. Lineaarista kohdistusta hienosäädettiin vielä erotuskuvien silmävaraisen tarkastelun pohjalta. Regressiokorjausta varten kuva-alueen länsiosasta, Tulomajärven ja Suomen rajan väliseltä oletetulta tausta-alueelta rajattiin analyysin kohdealue. Saaduilla regressioyhtälöillä kuvat korjattiin spektrisesti vertailukelpoisiksi.

Montegorskin ympäriltä rajattiin seuraavaksi n. 120 × 130 km kokoinen ikkuna varsinaisen muutosanalyysin kohteeksi. Eri kanavien erotuksia tarkasteltiin silmämääräisesti. Joitakin paloalueita, hakkuita ja rakennustoiminnan jälkiä lukuunottamatta erotuskanavilta ei voinut kovin hyvin paikantaa muutoksia. Olenogorskin avolouhosten kaivosten sivukivikasojen kasvu erottui mielenkiintoisena yksityiskohtana selvästi. Kasvillisuusindeksien erotuksesta laadittiin luokittelu yhden ja kahden hajontayksikön kynnysarvoilla (kuva 4). Luokittelun tuloksesta ei voi selvästi osoittaa tuhoalueen laajenemista; Montsegorskin etelä- ja lounaispuolella näyttää tapahtuneen jonkinlaista laikuttaista taantumista, mutta pohjoispuolella ei ole havaittavissa erityisiä muutoksia. Kohonneita indeksiarvoja (positiivinen muutos) on havaittavissa erityisesti tunturialueilla. Tämä voi johtua kuvien rekisteröintiajankohtien (9.7.1985 ja 5.8.1989) välisistä fenologiaerosta. Tunturikasvillisuus lienee lyhyen kasvukautensa takia heijastukseltaan nopeasti muuttuvaa ja siten fenologiaerojen suhteen kriittistä.





Kuva 3. Montsegorskin ympäristömuutoksen tarkastelussa käytetyt LANDSAT 5 -satelliittikuvat vuosilta 1985 ja 1989. Sininen = kanava 1 (0.45–0.52 µm), vihreä = kanava 4 (0.76–0.90 µm), punainen = kanava 6 (10.4–12.5 µm). Tuhoalue erottuu punaisena läikkänä Montsegorskin pohjois- ja eteläpuolella. Siniset alueet ovat pilviä, kirkkaanvihreät lehtipuuvaltaista kasvillisuutta ja violetit korkeita tuntureita.



Kuva 4. Kynnysarvomenetelmällä luokiteltu v. 1985 ja 1989 kasvillisuusindeksien erotus.

Alustavista analyyseistä ei vielä voida tehdä johtopäätöksiä tuhon etenemisnopeudesta. Todennäköisesti saasteiden aiheuttama muutos latvusten ja pintakasvillisuuden kunnossa ei ole selvärajainen, vyöhykkeenä etenevä prosessi, vaan laaja-alainen, liukuvarajainen ja mosaiikkimainen ilmiö, jonka luotettava osoittaminen ja eristäminen vaatii pitemmän aikasarjan havaintoja. Tulosten luotettavuustarkastelua vaikeuttavat seuraavat seikat:

1. Kunnollisia karttoja ei ole ollut käytettävissä Venäjän puolelta, jolloin maastohavaintojen paikannus on tehty satelliittikuvasta tehtyjen vedosten avulla, eikä tarkkuudessa ei ole päästy pikselitasolle (30 m).
2. Maastotukialojen kunnollinen keräys ei ole ajan ja resurssien puutteen takia ollut mahdollista. Esim. systemaattista maastootosta on vaativuutensa takia mahdotonta toteuttaa Venäjän puolella.

Useilla maastoretkillä on saatu selkeä kuva tuholuokitusten ja kasvillisuuden tilan yhtäpitävyydestä, ja saadut tulokset ovat osoittautuneet tavoitteet huomioon ottaen riittävän luotettaviksi yleisen kuvan saamiseksi Montsegorskin ympäristön metsien tilasta. Muutosanalyysin luotettavuutta tukisi ratkaisevasti kesän 1993 kuva, jolloin kolmen kuvan (1985, 1989, 1993) pohjalta voitaisiin tehdä jo melko luotettava analyysi muutoksen nopeudesta.

Kirjallisuus

Campbell, J.B. 1987. Introduction to Remote Sensing. The Guillford Press, New York. 551 s.

Eastman, J. R. & McKendry, J. E. 1991. Change and time series analysis. Explorations in geographic information systems technology, Volume 1. UNITAR Europen office, Switzerland. 85 s.

Häme, T. 1991. Spectral interpretation of changes in forest using satellite scanner images. Seloste: Metsän muutosten spektrinen tulkinta satelliittikeilainkuvien avulla. Acta Forestalia Fennica 222. 111 s.

Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W. 1987. Remote sensing and image interpretation. 2. painos. John Wiley and Sons, New York. 721 s.

Mikkola, K. & Ritari, A. 1992a. Montsegorskin alueen metsävauriot – alustava satelliittikuvatulkinta. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 13–17.

— & Ritari, A. 1992b. Satellite survey of forest damage in the Monchegorsk area, Kola Peninsula. Julkaisussa: Tikkanen, E., Varmola, M. & Katermaa, T. (toim.). Symposium on the state of the environment and environmental monitoring in Northern Fennoscandia and Kola Peninsula. October 6–8, 1992, Rovaniemi, Finland. s. 310–313.

Mulder, N, J. 1988. Digital image processing, computer-aided classification and mapping. Julkaisussa: Küchler, A.W. & Zonneveld, I.S. (toim.). Vegetation mapping, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. s. 269–316.

Päivinen, R. & Rautiainen, S. 1990. Spectral reflectance of forest stands. The usability of remote sensing for forest inventory and planning. Julkaisussa: Proceedings from SNS/IUFRO workshop in Umeå 26–28 February 1990. Avdelningen för skoglig fjärranalys, Sveriges lantbrukuniversitetet, Rapport 4. s. 3–8.

Singh, A. 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing 10: 989–1003.

Tikkanen, E. & Varmola, M. (toim.) 1991. Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the U.S.S.R. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 373. 160 s.

Vogelmann, J.E. 1990. Comparison between two vegatation indices for measuring different types of forest damage in the north-eastern United States. International Journal of Remote Sensing 11–12: 2281–2297.

Zonneveld, I. S. 1988a. Interpretation of remote sensing images. Julkaisussa: Küchler, A.W. & Zonneveld, I.S. (toim.). Vegetation mapping, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. s. 265–268.

— 1988b. Reflection, absorbtion and transmission of light and infrared radiation through plant tissues. Julkaisussa: Küchler, A.W. & Zonneveld, I.S. (toim.). Vegetation mapping, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. s. 223–231.

Metsämaan vesipitoisuuden luokitus dielektrisyyden ja gammasäteilyn avulla: potentiaalinen apuväline metsänuudistamisen suunnitteluun

KARI MÄKITALO[1], RAIMO SUTINEN[2], MARJA-LIISA SUTINEN[1] & MARKKU PÄNTTÄJÄ[2]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
EMAIL Kari.Makitalo@metla.fi
EMAIL Marja-Liisa.Sutinen@metla.fi
[2]Geologian tutkimuskeskus
PL 77, 96101 Rovaniemi
EMAIL Raimo.Sutinen@gsf.fi
EMAIL Markku.Panttaja@gsf.fi

Johdanto

Metsänuudistamisen onnistuminen edellyttää huolellista suunnittelua, jonka on perustuttava vankkaan tietämykseen toisaalta kasvupaikkojen ominaisuuksista ja toisaalta uudistamisessa käytettävien puulajien kasvupaikkavaatimuksista. Lapissa metsänviljely on ollut pitkään lähes yksinomaan männyn viljelyä. Mäntyä kasvaneiden kasvupaikkojen ohella myös luontaisesti kuusta kasvaneet kasvupaikat on pyritty viljellen uudistamaan männiköiksi. Männyn suosiminen on perustunut vanhoihin tutkimustuloksiin kuusikoiden hitaasta kasvusta ja uudistamisongelmista sekä männyn muita puulajeja paremmasta kasvusta kaikenlaisilla kasvupaikoilla (Heikinheimo 1920, 1922, 1939, Ilvessalo 1937, Sirén 1955). Mänty on myös teollisuuden raaka-aineena ollut muita puulajeja arvokkaampi. Männynviljely ei kuitenkaan ole ollut ongelmatonta, vaan viljely on paikoin toistuvasti epäonnistunut (Oikarinen & Norokorpi 1986, Norokorpi 1987).

Maaperän epäedullisia fysikaalisia ominaisuuksia, maan suurta vesipitoisuutta, pientä ilmatilaa ja alhaista lämpötilaa pidettiin

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 62–78.

1960-luvun taimituhojen tärkeimpänä syynä (Lähde 1974, Pohtila 1977). Siihen asti yleisimmin käytetyn maanpinnan käsittelymenetelmän, laikutuksen, arveltiin olevan riittämättömän etenkin kosteilla entisillä kuusimailla. Auraus syrjäyttikin 1960-luvun lopulla laikutuksen ja siitä tuli vähitellen yleismenetelmä.

Useiden tutkimusten mukaan aurauksella pystytään kuohkeuttamaan ja kuivattamaan maata, lisäämään maan ilmatilaa ja kohottamaan maan lämpötilaa (Mälkönen 1972, Leikola 1974, Kauppila & Lähde 1975, Mutka & Lähde 1977, Lähde 1978, Ritari & Lähde 1978, Lähde ym. 1981). Aurauksen on todettu myös lisäävän käytettävissä olevien ravinteiden määrää maassa mikrobitoiminnan vilkastumisen ansiosta (Palmgren 1984, Ritari 1985). Männyn taimien alkukehitys auratuilla uudistusaloilla osoittautuikin hyväksi (Pohtila 1977, Mutka & Lähde 1977, Lähde 1978, Lähde ym. 1981, Pohtila & Pohjola 1985). Ensimmäisinä viljelyn jälkeisinä kasvukausina taimet sekä pysyivät elossa että kasvoivat paremmin aurausaloilla kuin laikutusaloilla. Aurauksen pitkäaikaiset vaikutukset eivät sen sijaan ole olleet yhtä kiistattomia, sillä aurausalueillakin taimia on tuhoutunut (Pohtila & Pohjola 1983, Mäkitalo 1990a, 1990b).

Auratuilla aloilla tapahtuneisiin taimituhoihin on haettu selitystä mm. maan ravinnetalouden häiriöistä, uudistusalan sijainnista ja maaston korkeudesta sekä lämpösummasta (Tikkanen & Raitio 1984, Tikkanen 1985, Pohtila & Pohjola 1983, Saarenmaa 1991, 1992, Valkonen 1992). Edellä esitetyillä selitysmalleilla ei kuitenkaan ole täysin pystytty selittämään aurattujen alojen taimien tuhoutumista.

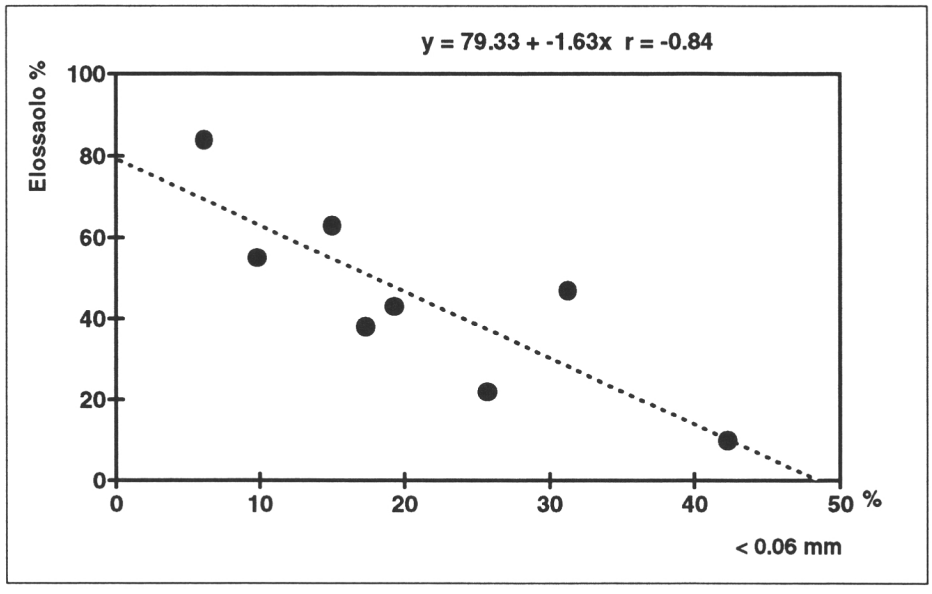
Lapin männynviljelyaloilla eri ajankohtina esiintyneistä tuhoista löytyy yhteisiä piirteitä. Niitä on ensinnäkin tavattu kylmien ja sateisten kasvukausien jälkeen. Taimia on tuhoutunut eniten entisillä kuusivaltaisilla kasvupaikoilla, jotka usein sijaitsevat korkeilla alueilla ja joiden keskimääräinen lämpösumma on alhainen (Norokorpi 1971, Pohtila 1977, Pohtila & Pohjola 1983, 1985, Valtanen 1988, Mäkitalo 1990a, 1990b). Maalajiltaan tuhoalueet ovat useimmiten olleet hienojakoisia (Valtanen 1988). Edelleen yhteinen piirre on, että tuhoja on esiintynyt vielä vakiintuneiksi luokitelluissa taimikoissakin, joissa taimet ovat olleet 10–15 vuoden ikäisiä ja 1–2 metrin pituisia ja siten juuri ylittäneet hankirajan. Taimien lopullisen tuhoutumisen aiheuttaja on usein ollut jokin sienitauti, yleensä männyn lumihome (*Phacidium infestans* Karst.) tai versosurma (*Gremmeniella abietina* Lagerb. Morelet) (Norokorpi 1971).

Kuusivaltaisten metsien männyn viljelyissä on toisaalta saavutettu hyviäkin tuloksia (Heikinheimo 1939). Kuusivaltaisista kasvupaikoista paksusammaltyypin (HMT) on havaittu esiintyvän maalajiltaan erilaisilla kasvupaikoilla (Sepponen ym. 1982). Luontaiset kuusikot kasvavat kuitenkin keskimäärin hienojakoisemmil-

la mailla kuin männiköt, ja vastaavasti kivennäismaan vesipitoisuus on kuusikoissa suurempi kuin männiköissä (Aaltonen 1936, Sepponen ym. 1979). Maan lajitekoostumus ja etenkin maan hienojen lajitteiden osuus vaikuttaa voimakkaasti maan vedenpidätyskykyyn ja vesipitoisuuteen (Viro 1962, Hillel 1971, Sepponen 1981, 1985). Hienojen lajitteiden osuuden on todettu vaikuttavan myös männyn viljelyn onnistumiseen Lapissa (Lähde & Siltanen 1973, Lähde 1974, Mäkitalo 1992; kuva 1).

Maan vesipitoisuuden määrittäminen perinteisellä gravimetrisellä menetelmällä (näytteenotto, punnitus märkänä, 24 tunnin uunikuivatus 105 °C:ssa ja punnitus kuivana) ei hitaana ja kalliina sovellu metsämaan luokittelun pohjaksi. Maan vesipitoisuuden suuri kasvupaikkakohtainen spatiaalinen vaihtelu (Norden 1989, Magnusson 1992) heikentää edelleen gravimetrisen menetelmän taloudellisuutta. Maan lajitekoostumuksen määrittämisessä on samankaltaisia ongelmia.

Metsänuudistamisen suunnittelun kannalta olisi olennaisen tärkeää pystyä luokittelemaan kasvupaikat Lapissa siten, että männyn uudistamiseen soveltumattomat kohteet voitaisiin tunnistaa. Jotta maan vesipitoisuutta voitaisiin tehokkaasti ja taloudellisesti käyttää kasvupaikkaluokittelun tarkentamiseen, on se pystyttävä määrittämään nopeasti ja luotettavasti maastossa *in situ* ja sen laaja-alaiset vaihtelut selvittämään kaukokartoitusmenetelmillä.



Kuva 1. Männyn paperikennotaimien elossaolon riippuvuus maan hienojen lajitteiden (< 0.06 mm) osuudesta kulotetuilla ja laikutetuilla viljelyaloilla Lapissa 13 vuoden kuluttua viljelystä (Mäkitalo 1992).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvitellä maan vesipitoisuuden vaikutusta männyn viljelyn onnistumiseen Keski-Lapissa ja kehittää geofysikaalisiin mittausmenetelmiin perustuva metsämaan vesipitoisuuden luokitus- ja kartoitusmenetelmä metsänuudistamisen suunnittelun apuvälineeksi. Koska sora- ja hiekkamailla männyn uudistamisessa ei yleensä ole ongelmia, keskityttiin moreenimaiden tutkimiseen.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusorganisaatiot

Tutkimus liittyy osana Geologian tutkimuskeskuksen Pohjois-Suomen aluetoimiston hankkeeseen "Sähköiset menetelmät maaperätutkimuksissa" ja Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusaseman hankkeeseen "Metsänviljely". Se toteutettiin kiinteässä yhteistyössä Metsähallituksen (Rovaniemi) metsätalouden suunnittelutoimen kanssa. Tutkimuksessa käytettiin maastossa kerätyn aineiston lisäksi GTK:n matalalentogamma-aineistoa, METLAn viljelykoeaineistoa ja Sodankylän hoitoalueen metsätalouden tarkastuksen PATI-paikkatietojärjestelmän metsikkökuviotietoja.

Tutkimusalueet ja -ajankohta

Kaikki tutkimusten kohteiksi valitut alueet olivat olleet ennen uudistushakkuita puustoltaan kuusivaltaisia. Kohdealueet valittiin sekä metsähallituksen käytännön uudistusaloilta ja koealoilta (Hanhilehto, Vaalolehto, Varpupää, Äältövittikko ja Haipankuusikko) että Metsäntutkimuslaitoksen koekentiltä Keski-Lapista (Poksaselkä) ja Sodankylän Pomokairan alueelta. Tässä tutkimusraportissa esitetään tuloksia Poksaselän koekentältä ja sen ympäristöstä (muut kohteet ks. Sutinen ym. 1993b).

Poksaselässä tehtiin kaistaleavohakkuu talvella 1972. Kaistaleet muokattiin eri menetelmillä kesällä 1972. Vuosina 1973–1975 koeruutuihin istutettiin ja kylvettiin mäntyä (Ritari & Lähde 1978, Mäkitalo 1983). Poksaselän viljelykokeet mitattiin viimeksi vuonna 1990. Maan vesipitoisuusmittaukset tehtiin kesällä 1992.

Tutkimusmenetelmät

Maan dielektriset ominaisuudet ovat radiotaajuuksilla 1 MHz–1 GHz riippuvaisia maan vapaan veden määrästä, joka on yleensä kyllästymättömilläkin maalajeilla 20–30-kertainen sitoutuneen (adsorptiovesi) veden määrään nähden. Koska maa-aines seoksena koostuu mineraalipartikkeleista (dielektrisyyskerroin ε_r = 4–7),

ilmasta (ε_r = 1) sekä sitoutuneesta vedestä (ε_r = 3,5) ja vapaasta vedestä (ε_r = 80), on vapaan veden määrä ratkaiseva koko seoksen dielektrisyyden suhteen. Siten maa-aineksen *in situ* kokonaisdielektrisyyden ja maassa olevan volymetrisen vesimäärän välillä on voimakas riippuvuus (Sutinen 1992). Dielektrisyys on käytetyllä taajuusalueella käytännössä riippumaton seoksen suolapitoisuudesta, joten se soveltuu kaikissa oloissa maan vesimäärän mittaamiseen.

Dielektrisyysominaisuudet mitattiin tutkimuskohteella *in situ* paikaltaan käyttäen TDR (aikaheijastusmittaus) ja ECP (kapasitanssimittaus) menetelmiä ja liikkeestä RSAD (pinta-aaltomittaus) menetelmää (Sutinen 1992, Sutinen & Hänninen 1991). Tässä tutkimuksessa käytettiin pääasiassa ECP-menetelmää, koska se mahdollistaa yksinkertaisen profiilin mittauksen.

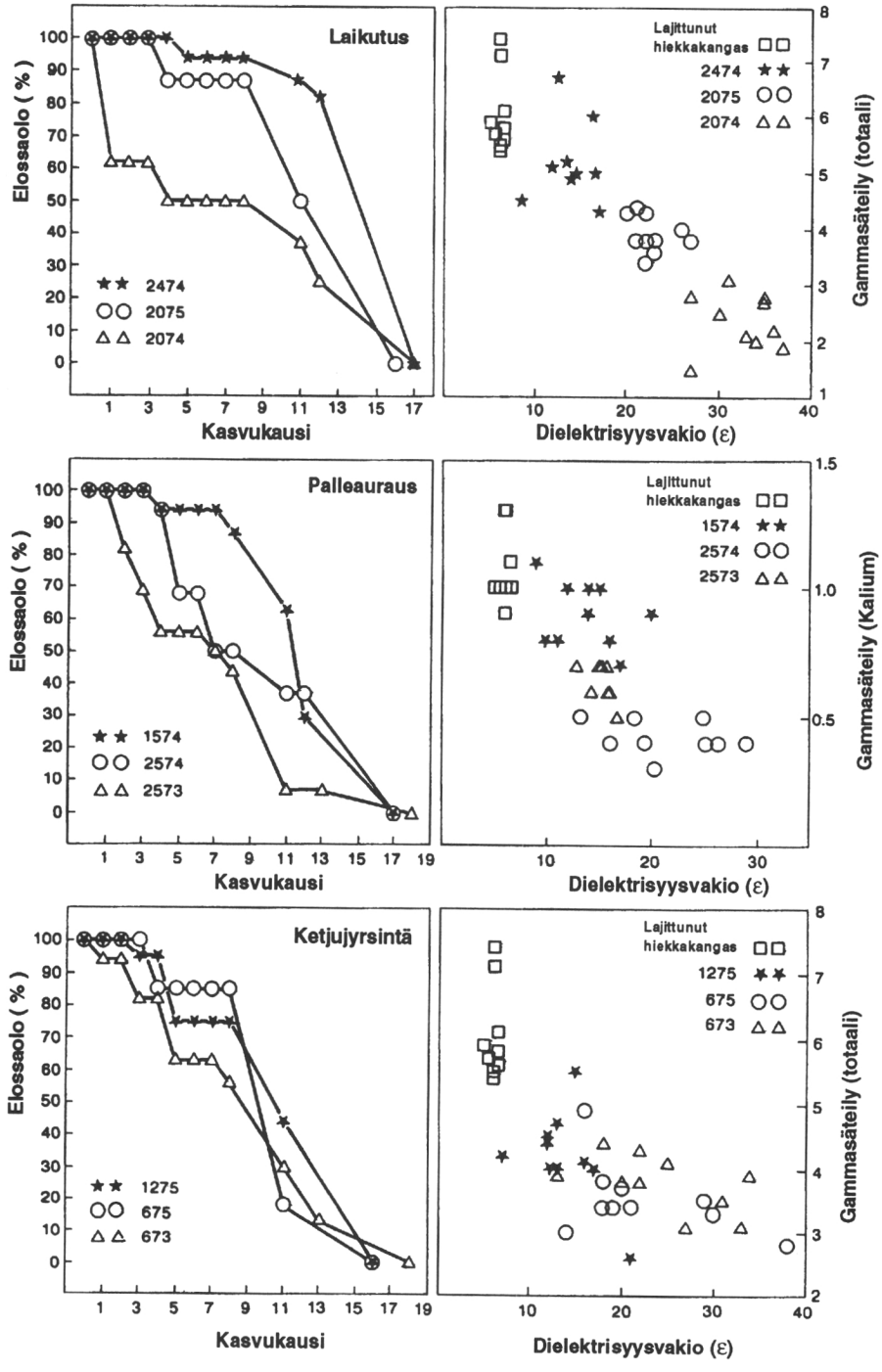
Kaikki mineraalit ja vastaavasti myös maa ja kallioperä ovat jossain määrin radioaktiivisia. Vaikka eri kivilajit poikkeavat toisistaan gammasäteilyn määrässä (Lanne 1986), on moreeni eri kivilajien sekoituksena esim. kalin (K) suhteen homogeeninen Pomokairan alueella (kalia 0,3–0,4 %, Lestinen 1980). Siten säteilyn vaimenemisen voidaan pääsääntöisesti katsoa johtuvan maan sisältämästä vedestä (Zotimov 1971). Jo noin 10 cm vesipatsas vaimentaa 50 % säteilystä. Vastaavaan vaimennukseen tarvitaan 100 m ilmaa (Grasty 1977). Maan dielektrisyyden ja gammasäteilyn määrän välillä vallitseekin vahva riippuvuus (Sutinen ym. 1993a). Mitä suurempi maan dielektrisyys (vesipitoisuus) on, sitä pienempi on maan säteilemän gammasäteilyn määrä.

Gammasäteily voidaan mitata joko paikaltaan maastossa tai liikkeestä matalalentomittauksena. Tässä tutkimuksessa käytettiin GTK:n vuoden 1981 matalalentogamma-aineistoa, jossa lentokoneen lentokorkeus vaihteli 30–50 m ja lentolinjaväli oli keskimäärin 200 m. Lentogamma-aineisto tasoitettiin pikselikokoon 50 × 50 m. Gammasäteilyn maastomittauksiin käytettiin kannettavaa gammaspektrometria. Tutkimuksessa esitetyt kartat tehtiin GTK:n ALKEMIA-ohjelmistolla.

Tulokset

Maan vesipitoisuus ja sen vaihtelu

Maan vesipitoisuus oli Poksaselän koekentällä selvästi suurempi kuin vertailuna käytetyllä lajittuneella, luontaisesti mäntyä kasvavalla hiekkakankaalla (kuva 2). Kaikissa Poksaselän ruuduissa maan dielektrisyyskeskiarvo ylitti arvon 10 ja kolmea ruutua lukuunottamatta arvon 15. Dielektisyysarvoja 10, 15, 20 ja 30 vastaavat tilavuusvesipitoisuudet ovat 15, 22, 28 ja 40 % (Sutinen 1992, s. 35).



Kuva 2. Vasemmalla männyn turveruukkutaimien elossaolon kehitys Pomokairan Poksaselässä laikuissa, palteissa ja ketjujyrsinnässä ja oikealla samoista ruuduista mitattujen dielektrisyys- ja gammasäteilyarvojen välinen riippuvuus. Vertailuna havainnot Kitisen luontaisesti mäntyä kasvavalta lajittuneelta hiekkakankaalta.

Poksaselässä maan vesipitoisuus myös vaihteli enemmän kuin vertailualueella. Kun hiekkamaan dielektrisyysarvot olivat 5–7, vaihtelivat mittausarvot Poksaselässä 8:n ja 38:n välillä. Ruutujen sisäisen vaihtelun suuruudessa oli huomattavia eroja. Esimerkiksi ruudussa 2573 havaintojen vaihteluväli oli 5 ja ruudussa 675 vastaavasti 25.

Männyn viljelyn onnistuminen ja maan vesipitoisuus

Poksaselän koekentällä maan vesipitoisuuden vaikutus taimien elossaoloon oli selvin laikutusruuduissa (kuva 2). Mitä suurempi maan vesipitoisuus oli, sitä aikaisemmassa vaiheessa taimet olivat tuhoutuneet. Kesä 1974, jolloin ruudut 2074 ja 2474 viljeltiin, oli poikkeuksellisen sateinen (Ritari & Lähde 1978). Vesipitoisuudeltaan suurimpaan ruutuun (2074) istutetuista taimista kuoli 40 % heti ensimmäisen kasvukauden aikana. Kuivimmassa ruudussa (2474) taimet säästyivät pitkään kokonaan tuhoilta.

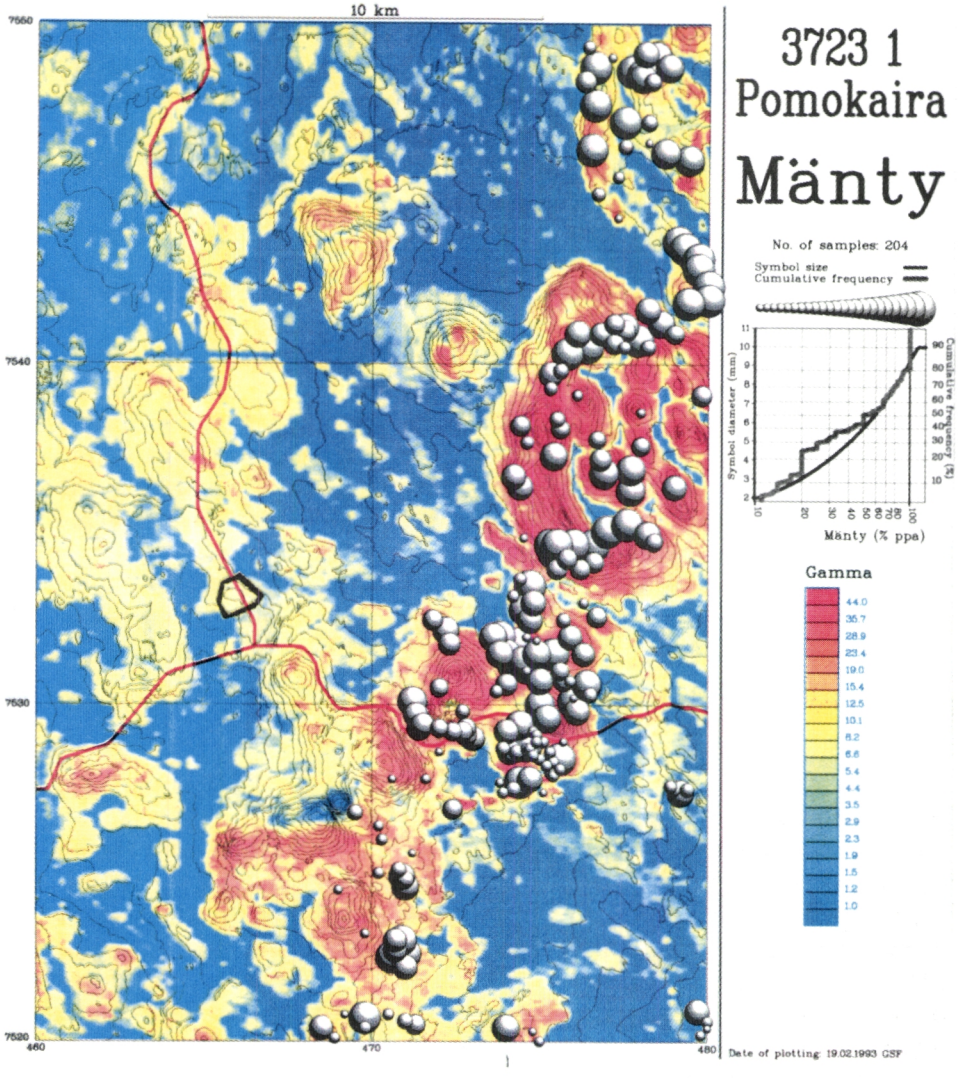
Palleauraukselle ja ketjujyrsinnällä käsitellyissä koeruuduissa ei maan vesipitoisuuden ja taimien elossaolon välinen riippuvuus ollut yhtä selvä kuin laikutusruuduissa. Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon se, että vesipitoisuusmittaukset tehtiin kaikissa ruuduissa koskemattomasta maasta. Palleauraus- ja jyrsintäruuduissa maankäsittely on todennäköisesti etenkin ensimmäisinä viljelyn jälkeisinä vuosina vaikuttanut taimen kasvukohdan vesipitoisuuteen. Taimet pysyivät pisimpään elossa kuivimmissa ruuduissa. Lopputuloksena kaikissa maankäsittelyruuduissa oli taimien täydellinen tuhoutuminen.

Männyn luontainen esiintyminen ja maan vesipitoisuus

Metsähallituksen PATI-paikkatietojärjestelmästä saatujen kuviotietojen perusteella tarkasteltiin männyn esiintymistä maan vesipitoisuuskartalla, joka oli laadittu lentokoneesta mitatun gammasäteilyn avulla (kuva 3). Gammasäteilyä läpäisemättömät vesistöt ja suot näkyvät kartalla sinisinä ja suorat säteilylähteet, avokalliot ja rakat, tummanruskeina. Näiden kahden ääripään väliset sävyt kuvaavat maan vesipitoisuuden tasoa. Metsikkökuvion keskipisteeseen sijoitetun pallon avulla on ilmaistu männyn esiintyminen (minimipohjapinta-ala 1 m^2/ha) ja pallon koolla männyn osuus kuviolla kasvavan puuston pohjapinta-alasta.

Männyn luontainen esiintyminen kangasmailla on tarkastellulla alueella rajoittunut kasvupaikoille, joilla maan gammasäteilyarvot ovat korkeat eli maa on suhteellisen karkearakeista ja kuivaa. Suuri osa männiköistä sijaitsee korkeilla maastonkohdilla. Monien

ravinteiden, kuten esim. fosforin, pitoisuudet moreenissa ovat GTK:n Pomokairan alueelta tekemän geokemiallisen kartoituksen mukaan mäntyalueilla pienimmillään (Lestinen 1980).



Kuva 3. Männyn luontainen esiintyminen kangasmailla Pomokairassa. Männyn esiintyminen kuviolla on ilmaistu kuvion keskipisteeseen sijoitetulla pallolla, jonka koko ilmaisee männyn osuuden (%) kuvion pohjapinta-alasta (m^2/ha, minimi 1 m^2/ha). Karttapohjana on lentogamma-aineiston pohjalta laadittu gammasäteilykartta, jossa maan säteilemän gammasäteilyn määrä kasvaa (maan vesipitoisuus pienenee) värisävyn muuttuessa sinisestä punaiseen. Poksaselän koekenttä on rajattu karttaan viivalla.

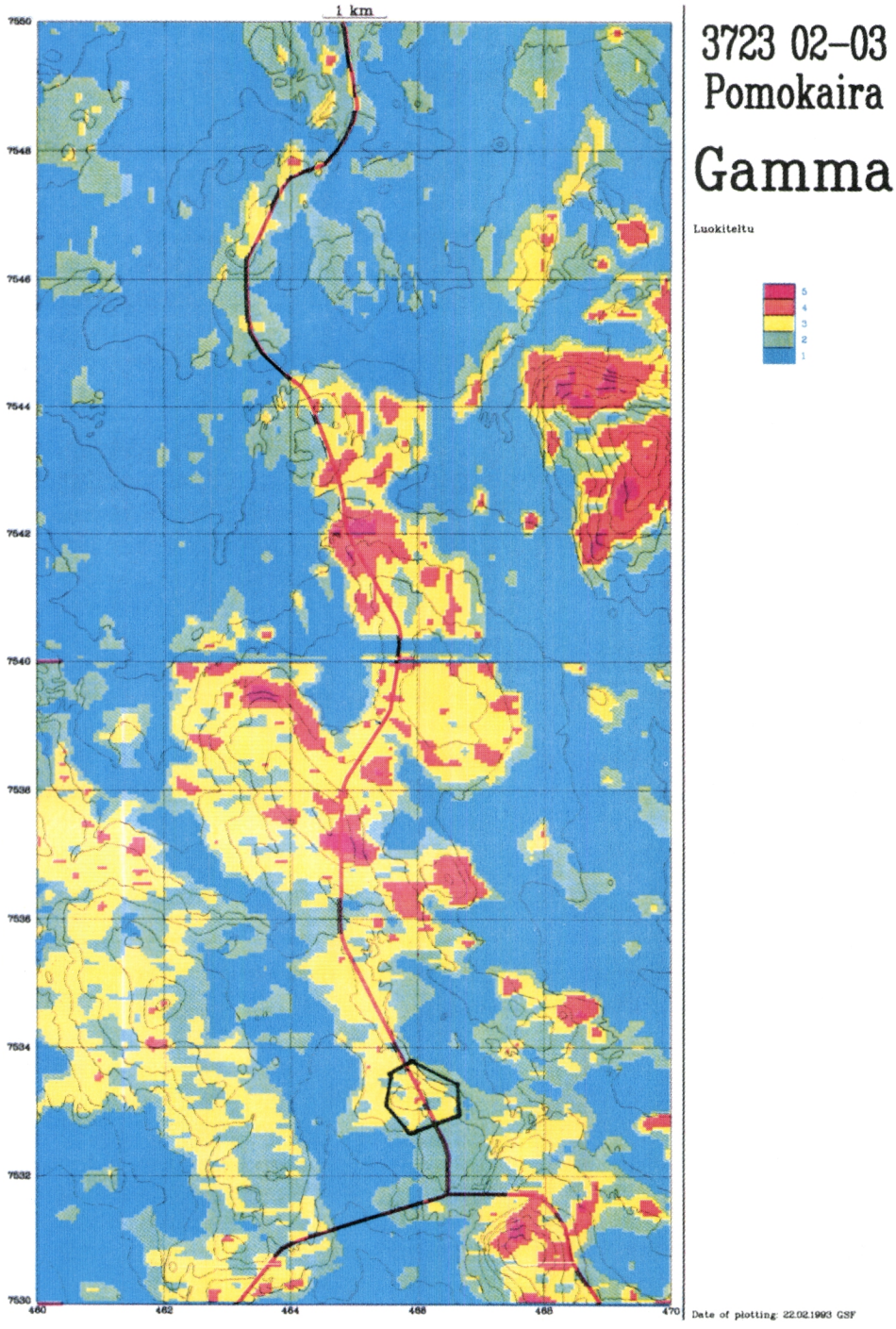
Luokiteltu vesipitoisuuskartta

Lentokoneesta matalalentomittauksena mitattua gammasäteilyaineistoa verrattiin Poksaselän koekentällä maastossa mitattuihin dielektrisyys- ja gammasäteilyaineistoihin. Maastomittauksilla tarkennetun matalalentomittausaineiston pohjalta laadittiin viiteen maan vesipitoisuusluokkaan luokiteltu kartta mittakaavaan 1 : 20000 (karttalehti 3733 02, Poksaselkä). Luokitusta testattiin maastomittauksin Haipankuusikossa, Poksaselän pohjoispuolella sijaitsevalla karttalehdellä (3733 03). Maastomittauksilla mitatut vesipitoisuudet vastasivat luokitellun kartan arvoja, joten matalalentomittauksena mitatun gammasäteilyaineiston voidaan katsoa soveltuvan maan vesipitoisuuden kuvaamiseen karttalehtimittakaavassa (Sutinen ym. 1993a).

Kuvassa 4 on esitetty em. luokiteltu vesipitoisuuskartta, jossa maan vesipitoisuus kasvaa siirryttäessä punaisesta väristä siniseen. Kartan luokitus on tehty tämän ja muiden tutkimusten (Sutinen ym. 1993a, 1993b) perusteella siten, että kukin luokka vastaa tiettyä maan vesipitoisuuden vaihtelualuetta ja männyn viljelyn onnistumisen tasoa. Kartassa tummanpunainen väri edustaa voimakasta säteilylähdettä, joka voi olla esim. avokallio tai rakka. Vaaleanpunainen väri edustaa männyn viljelyyn soveltuvaa maan vesipitoisuusaluetta. Keltaisella alueella männyn viljelyn onnistuminen arvioidaan epävarmaksi ja vihreällä alueella viljely todennäköisesti epäonnistuu. Vesistöt ja suot näkyvät kartassa sinisinä.

Tulosten tarkastelu

Nyt tutkituilla kohteilla ei voimaperäisellä maanmuokkauksellakaan kyetty parantamaan ratkaisevasti männyn taimien elossapysymistä kasvupaikoilla, joilla maan vesipitoisuus on suuri (ks. myös Sutinen ym. 1993b). Aurauspalteista tehtyjen dielektrisyysprofiilien (Sutinen ym. 1993b) perusteella näyttääkin siltä, että pitkällä aikavälillä, 10–20 vuoden kuluessa, palteiden vesitalous palautuu lähes aurausta edeltäneeseen tilaan humuskerroksen hajotessa, palteiden tiivistyessä ja maan vettä johtavien kapillaariyhteyksien palautuessa. Aurausaloilla on palteen ja vaon välisen korkeuseron todettu pienenevän puoleen 15 vuoden kuluessa aurauksesta (Kellomäki 1972). Noin 70% tasoittumisesta tapahtuu viiden ensimmäisen kasvukauden aikana, jolloin myös pääosa palteiden alaisista humuskerroksista hajoaa (Kellomäki 1972, Ferm & Sepponen 1981). Aurausjäljen tasoittuminen onkin pää-asiallisesti palteen tasoittumista vakojen tasoittuessa vain vähän (Ferm & Sepponen 1981). Palteiden tiivistymisen ja humuskerroksen hajoamisen lisäksi myös eroosio nopeuttanee kasvipeitteettömien palteiden tasoittumista ensimmäisinä muokkausta seuraavina vuosina.



Kuva 4. Luokiteltu gammasäteilyyn perustuva vesipitoisuuskartta, jonka luokitus on laadittu kuvaamaan männynviljelyn onnistumismahdollisuuksia (luokka 1 (sininen): suot ja vesistöt, luokka 2 (vihreä): viljely epäonnistuu, luokka 3 (keltainen): viljelyn onnistuminen epävarmaa, luokka 4 (vaaleanpunainen): viljelyn onnistumismahdollisuudet hyvät, luokka 5 (punainen): avokallio tai rakka). Poksaselän koekenttä on rajattu karttaan viivalla.

Maan vesipitoisuuden kasvaessa maan lämpötila laskee. Runsaasti hienoja lajitteita sisältävillä mailla saattaa maassa esiintyä ajoittain myös hapettomuutta. Nämä seikat heikentävät männyntaimien juuriston ja verson kuntoa ja kasvua. Hapettomien olosuhteiden merkitys taimelle riippuu mm. hapettomuuden esiintymisen ajankohdasta ja kestosta sekä puulajista. Kasvukauden aikana ja juurten kasvun ollessa voimakkaimmillaan lyhytaikainenkin maan hapettomuus voi vaikuttaa taimien fysiologiseen tilaan epäedullisesti (Kozlowski 1986). Juuriston toiminta (veden ja ravinteiden otto) estyy, yhteyttäminen vähenee ja yhteyttämistuotteiden kuljetus häiriintyy.

Puulajien sopeutuminen ja sopeutumismekanismit maan hapettomuuteen vaihtelevat. Kotimaisista havupuulajeistamme kuusen juuret kestävät hapettomia olosuhteita huonosti, mutta kuusi pystyy jälkijuuriensa avulla sopeutumaan märille kasvupaikoille. Männyllä ei sen sijaan näytä olevan keinoa selviytyä, jos maan vesipitoisuus on suuri ja kasvualusta ajoittain hapeton (Lähde 1974, Pernu & Ritari 1978, Magnusson 1992). Männyn taimien heikentyminen voi johtaa taimien tuhoutumiseen esim. versosurmatuhon seurauksena. Hienojakoisilla mailla myös roustetuhot ovat yleisiä, mikä heikentää edelleen männynviljelyn onnistumismahdollisuuksia (Ritari & Lähde 1978, Mäkitalo 1983). Hieskoivu on eräiden tutkimusten mukaan (Huikari 1959) sopeutunut kuusta ja mäntyä paremmin kosteille kasvupaikoille. Sopeutumismekanismia ei kuitenkaan vielä täysin tunneta. Hieskoivun kyky kuljettaa happea versosta juuristoon voi selittää osan ilmiöstä (Grosse ym. 1992).

Ritarin & Lähteen (1978) mukaan maan ilmatila oli Poksaselän koekentällä sateisena kesänä pientareessa, laikussa ja koskemattomassa maassa ajoittain alle 10 %, mitä pidetään juurten toiminnan ja kasvun kannalta liian pienenä. Vaikka aurauspalteessa maan ilmatilan on ensimmäisinä kasvukausina todettu olevan lähes optimaalinen juurten kasvulle, ei aurauksen ole soistuneilla kankailla todettu vaikuttavan aurausjälkien välisen alueen vesitalouteen ja ilmanvaihtoon merkittävästi (Mannerkoski & Möttönen 1990, Mannerkoski 1991). Vedenvaivaamilla kasvupaikoilla männyn taimien juuristo ei todennäköisesti pysty kasvamaan riittävästi aurausvakojen välialueille. Mikäli myös palteen vesitalous ajan myötä kehittyy epäedulliseen suuntaan, ei männyn taimien menestymiselle enää ole edellytyksiä. Ilmiön merkitys korostunee pohjoisilla ja korkeilla alueilla, joilla suuri osa männyn uudistamisen kannalta ongelmallisista kuusivaltaisista metsistä sijaitsee. Kylmässä ja humidisessa ilmastossa taimien kyky hoitaa vesitaloutta haihdunnallaan lienee rajoitettu.

Maan vesipitoisuuden on todettu olevan tärkein maan kaasujenvaihtoon vaikuttavista tekijöistä (Magnusson 1992). Vesipitoisuutta säätelee pitkälti moreenin tekstuuri, johon puolestaan vaikuttavat kivilajikoostumus sekä preglasiaalisten rapaumatuottei-

den, lähinnä savimineraalien, määrä. Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että maan vesipitoisuus on Keski-Lapissa sekä männyn luontaisen esiintymisen että viljelyn onnistumisen kannalta kriittinen tekijä. Pomokairan tutkimusalueella männyn luontainen esiintyminen näyttää rajoittuvan pääsääntöisesti Pomovaaran graniittimassiivin päälle. Graniitin rakenne on karkea ja siitä syntyvä moreeni ei voi jäätikkökuljetuksessa jauhaantua lähtömateriaalin tekstuuria (ns. terminal grading) hienommaksi. Graniitista muodostuneen karkean moreenin vesipitoisuus on pieni. Pomovaaran tapauksessa kalliopaljastumien ja rakkojen runsaus lakialueilla osaltaan takaa veden tehokkaan virtauksen. Ravinteiden osalta "graniittinen moreeni" on huomattavasti ympäröivien alueiden moreeneja köyhempää (Lestinen 1980).

Pomokairan Poksaselän tutkimusalueen kallioperä muodostuu kloriitti-amfiboliitti-liuskeista, joiden rapautumisen tuloksena moreenissa on runsaasti hienojakoista ainesta (Pulkkinen 1988). Keski-Lapissa hienorakeisen moreenin vesipitoisuuden on todettu olevan erityisen korkea, mikä johtuu moreenin sisältämästä preglasiaalisesta rapaumasta (Sutinen ym. 1993a, 1993b). Hienorakeisen moreenin alueet ovat puustoltaan yleensä hieskoivun sekaisia kuusikoita. Yksittäisten mäntyjen esiintyminen alueen kuusikoissa selittyy todennäköisesti maan vesipitoisuudessa havaitulla suurella spatiaalisella vaihtelulla (Sutinen ym. 1993b).

Koitelaisenkairan Hanhilehdossa männynviljely oli toisella kulotetulla ja kylvetyllä koealalla onnistunut hyvin ja toisella epäonnistunut täysin (Sutinen ym. 1993b). Onnistunut viljely selittynee koealan alla olevan gabron (Mutanen, suull.) karkealla rakenteella ja siitä syntyneen karkean moreenin pienellä vesipitoisuudella. Lisäksi eroosiota kestävän gabrokallioperän ansiosta Hanhilehdon hyvin taimettunut koeala on selvästi ympäristöään korkeammalla, mikä myös vaikuttaa edullisesti maan vesitalouteen. Epäonnistunut viljelykoeala puolestaan sijaitsee liuskeiden päällä. Koealan moreeni on hienorakeisen lähtömateriaalin takia hienorakeista ja sen vesipitoisuus on suuri.

Maan vesipitoisuuden vaihtelua tutkittiin kesällä 1992 myös Rovaniemellä GTK:n aluetoimiston pihalla sijaitsevalla referenssikoealalla. Maalajiltaan koeala on hiekkamoreenia. Mittausten perusteella voitiin todeta, että voimakkaan sateen seurauksena maan dielektrisyysarvot saattoivat karkeilla moreeneilla lähes kolminkertaistua (Sutinen ym. 1993a). Vesipitoisuus kuitenkin stabiloitui noin vuorokauden kuluessa maan tekstuurille ja huokostilalle ominaiselle tasolle. Voimakkaankaan sateen jälkeen karkeajakoisen hiekkamoreenin vesipitoisuus ei noussut Keski-Lapin tutkimusalueiden hienojakoisten rapakalliomoreenien tasolle. Toisaalta hienojakoisten moreenien vesipitoisuus on käytännössä aina suuri ja vedenläpäisevyys heikko, joten sateiden vaikutus niiden vesipitoisuuteen on todennäköisesti hyvin pieni humuskerrosta lukuunottamatta. Sateiden vaikutuksen minimoimiseksi vesipitoi-

suusmittaukset tehtiin Keski-Lapin tutkimusalueilla kuitenkin sateettomina sääjaksoina.

Edellä esitettyjen tutkimustulosten perusteella näyttää siltä, että Keski-Lapin moreenit, joissa dielektrisyyskerroin $\varepsilon_r < 10$ (vesipitoisuus alle 15 % tilavuudesta), ovat männyn viljelyn kannalta suotuisia. Sen sijaan metsämaat, joissa $\varepsilon_r > 15$ (vesipitoisuus yli 22 % tilavuudesta), eivät soveltune männyn viljelyyn. Kuusen uudistamisen kannalta ne ovat vielä mahdollisia. Poksaselässä oli sekä kuusen luontainen uudistuminen (Mäkitalo 1987) että viljely (Mäkitalo, julkaisematon aineisto) onnistunut hyvin. Männyn viljely oli sen sijaan 16–18 vuoden kuluttua viljelystä täysin epäonnistunut kaikissa maankäsittelyissä huolimatta taimien hyvästä alkukehityksestä (Mäkitalo 1983). Sutisen ym. (1993b) mukaan kuusen istutus oli Pomokairan Äältövittikon koealalla onnistunut hyvin, kun sen sijaan viereisellä koealalla männyn viljely oli epäonnistunut.

Edellä esitettyjä päätelmiä arvioitaessa on huomioitava, että ne perustuvat vain muutamissa Keski-Lapin kohteissa tehtyihin havaintoihin, joita ei voida suoraan yleistää esim. siirryttäessä etelään ja kivilajialueelta toiseen. Paitsi lähdemateriaali myös jäätikön liikedynamiikka säätelee moreenin rakennetta ja lajitekoostumusta, jotka yhdessä topografian kanssa vaikuttavat kasvupaikan vesitalouteen. Maan vesipitoisuuden ohella sen ravinne- ja lämpötalous, ilmastolliset tekijät, kuten lämpösumma, sademäärä ja ilmaston humidisuus sekä erilaiset tuhonaiheuttajat vaikuttavat metsänviljelyn onnistumiseen. Lisäksi viljelytavalla, viljelymateriaalin alkuperällä ja laadulla sekä viljelytyön laadulla on oma merkityksensä.

Maan sähköisiin ominaisuuksiin ja luonnon gammasäteilyyn perustuvien menetelmien todettiin soveltuvan hyvin metsämaan vesipitoisuuden määrittämiseen. Tutkimusaineiston pohjalta kehitettiin menetelmä maan vesipitoisuuden luokittelemiseksi ja kartoittamiseksi metsänuudistamisen suunnittelun tarpeisiin. Menetelmässä käytetään pistekohtaista dielektrisyys/gamma -maastoaineistoa vertailuaineistona uudistusalakohtaisen tutkamittausaineiston ja radiometrisen matalalentoaineiston digitaalisessa luokittelussa ja tulkinnassa. Maan vesipitoisuusvaihtelut voidaan menetelmän avulla kuvata karttalehtimittakaavassa. Menetelmä mahdollistaa myös uudistusalakohtaisen ja tarvittaessa jopa taimikohtaisen kartoituksen. Metodisesti tässä esitetty luokittelu mahdollistaa ns. hienoainesmoreenien kartoittamisen ja rajaamisen, joka perinteisin menetelmin ei ole taloudellisesti mahdollista. Metsätalouden paikkatietojärjestelmiin yhdistettynä maan vesipitoisuustietoa voitaneen metsänuudistamisen suunnittelun lisäksi käyttää hyväksi esim. metsäteiden suunnittelussa.

Kirjallisuus

Aaltonen, V.T. 1936. Kuusi männyn kilpailijana kasvupaikasta. Referat: Die Fichte als Konkurrentin der Kiefer um den Standort. Acta Forestalia Fennica 42(8). 39 s.

Ferm, A. & Sepponen, P. 1981. Aurausjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana. Summary: Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during a period of 10 years. Folia Forestalia 493. 19 s.

Grasty, R.L. 1977. Applications of gamma radiation in remote sensing. Julkaisussa: Schanda (ed.). Remote Sensing for Environmental Sciences. Springer-Verlag, New York. s. 257–276.

Grosse, W., Frye, J. & Lattermann, S. 1992. Root aeration in wetland trees by pressurized gas transport. Tree Physiology 10: 285–295.

Heikinheimo, O. 1920. Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. Referat: Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichten-Wälder in Nord-Finnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 3. 170 s.

— 1922. Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito. Referat: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nordfinnlands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 5. 132 s.

— 1939. Kokemuksia paksusammaltyypin metsien käsittelystä. Referat: Erfahrungen betreffend die Behandlung der Wälder vom Dickmoostyp. Silva Fennica 52: 121–139.

Hillel, D. 1971. Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press. New York. 288 s.

Huikari, O. 1959. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings. Seloste: Kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimien juuristoihin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 50(9). 15 s.

Ilvessalo, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnonnormaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Summary: Growth of natural normal stands in central North-Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 24(2). 168 s.

Kauppila, A. & Lähde, E. 1975. Koetuloksia maankäsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On the effects of soil treatment on forest soil properties in North-Finland. Folia Forestalia 230. 23 s.

Kellomäki, S. 1972. Maanpinnan reliefin ja kasvillisuuden kehityksestä aurauksen jälkeisinä vuosina Perä-Pohjolan metsänuudistusaloilla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 8. 56 s.

Kozlowski, T.T. 1986. Soil aeration and growth of forest trees (Review article). Scandinavian Journal of Forest Research 1(1): 113–123.

Lanne, E. 1986. Statistical multivariate analysis of airborne geophysical data on the SE border of the Central Lapland greenstone complex. Geophysical Prospecting 34: 1111–1128.

Leikola, M. 1974. Maanmuokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 88(1). 33 s.

Lestinen, P. 1980. Peurasuvannon karttalehtialueen geokemiallisen kartoituksen tulokset. Summary: The results of the geochemical survey in the Peurasuvanto map-sheet area. Geokemiallisten karttojen selitykset, lehti 3723. Geologinen tutkimuslaitos. Espoo. 97 s. + liitt.

Lähde, E. 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Seloste: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84(3). 23 s.
— 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 94(5). 59 s.
— , Manninen, S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary: The effect of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(7). 43 s.
— & Siltanen, S. 1973. Männyn taimien kunto ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of root system and the condition of the pine (Pinus silvestris L.) seedlings in northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 78(7). 31 s.
Magnusson, T. 1992. Temporal and spatial variation of the soil atmosphere in forest soils of northern Sweden. Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Site Research. Stencil No. 22.
Mannerkoski, H. 1991. Maanmuokkauksen vaikutus maan vesi-, happi- ja lämpötalouteen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 383: 43–51.
— & Möttönen, V. 1990. Maan vesitalous ja ilmatila metsäaurausalueilla. Summary: Soil water conditions and air-filled porosity on ploughed reforestation areas. Silva Fennica 24(3): 279–301.
Mutka, K. & Lähde, E. 1977. Effect of soil treatment, liming, and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(3). 57 s.
Mäkitalo, K. 1983. Koetuloksia männyn viljelyn onnistumisesta eri tavoin käsitellyllä paksusammaltyypin maalla Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 98–110.
— 1987. Kuusen luontaisesta uudistamisesta korkealla paksusammaltyypin maalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 32–46.
— 1990a. Artificial regeneration of Scots pine in Lapland. The Nordic postgraduate course "Artificial regeneration of forest trees" held in Asker, Norway, October 28.- November 3. 1990. 10 s.
— 1990b. Maankäsittely- ja viljelymenetelmän vaikutus männyn viljelyn onnistumiseen Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 362:109–120.
— 1992. Männyn viljelyn onnistuminen Lapissa. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. Moniste. 5 s.
Mälkönen, E. 1972. Näkökohtia metsämaan muokkauksesta. Summary: Some aspects concerning cultivation of forest soil. Folia Forestalia 137. 11 s.
Norden, L-G. 1989. Water use by Norway spruce – a study of two stands using field measurements and soil water modelling. Doctoral dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Site Research, Umeå.
Norokorpi, Y. 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhoista Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 2: 37–49.
— 1987. Metsänviljelyn onnistuminen korkeilla mailla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 17–31.
Oikarinen, M. & Norokorpi, Y. 1986. Vuosina 1956–65 viljeltyjen männyntaimikoiden tila valtion mailla Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 222. 46 s.

Palmgren, K. 1984. Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Summary: Microbiological changes in forest soil preparation and liming. Folia Forestalia 603. 26 s.

Pernu, T. & Ritari, A. 1978. Vastusluotauksia Sodankylän Poksaselässä pohjaveden esiintymisen selvittämiseksi. Abstract: Ground-water prospecting in North-Finland by means of resistivity soundings. University of Oulu, Department of Geophysics. Contribution no. 96. 15 s.

Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden viljely Lapissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(4). 98 s.

— & Pohjola, T. 1983. Vuosina 1970–72 Lappiin perustetun aurattujen alueiden viljelykokeen tulokset. Summary: Results from the reforestation experiment on ploughed sites established in Finnish Lapland during 1970–72. Silva Fennica 17(3): 201–224.

— & Pohjola, T. 1985. Maan kunnostus männyn viljelyssä Lapissa. Summary: Soil preparation in reforestation of Scots pine in Lapland. Silva Fennica 19(3): 245–270.

Pulkkinen, E. 1988. Effects of rock types on vegetation in Sattasvaara area Finnish Lapland. Nord 1990(20): 225–230.

Ritari, A. 1985. Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan ominaisuuksiin. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 100 s. + liitteet.

— & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92(7). 37 s.

Saarenmaa, L. 1991. Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla Pohjois-Suomessa. Summary: Choice of reforestation method based on an expert system in Finnish Lapland. Folia Forestalia 762. 49 s.

— 1992. Induktiivinen oppiminen metsänviljelyn tietokannan tulkinnassa. Metsähallituksen metsänhoitotöiden kirjanpitoaineistoon perustuva tutkimus. Summary: Inductive learning in knowledge acquisition from the forest regeneration database. A study based on the data collected by the National Board of Forestry. Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja 3. 173 s.

Sepponen, P. 1981. Kivennäismaan raekoon tunnuksista ja niiden käyttökelpoisuudesta eräiden maan ominaisuuksien kuvaamiseen. Summary: Particle size distribution characteristics of mineral soil and their applicability for describing some soil properties. Silva Fennica 15(2): 228–236.

— 1985. The ecological classification of sorted forest soils of varying genesis in northern Finland. Seloste: Syntytavaltaan erilaisten lajittuneiden kangasmetsämaiden ekologinen luokittelu Pohjois-Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 129. 77 s.

— , Lähde, E. & Roiko-Jokela, P. 1979. Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa. Summary: On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland. Folia Forestalia 402. 31 s.

— , Laine, L., Linnilä, K., Lähde, E. & Roiko-Jokela, P. 1982. Metsätyypit ja niiden kasvillisuus Pohjois-Suomessa. Valtakunnan metsien III inventoinnin (1951–1953) aineistoon perustuva tutkimus. Summary: The forest site types of North Finland and their floristic composition. A study based on the III national forest inventory (1951–1953). Folia Forestalia 517. 32 s.

Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland. Seloste: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forestalia Fennica 62(4). 408 s.

Sutinen, R. 1992. Glacial deposits, their electrical properties and surveying by image interpretation and ground penetrating radar. Geological Survey of Finland. Bulletin 359. 123 s.
— & Hänninen, P. 1991. Radar profiling and dielectric properties of glacial deposits in North Finland. Proc. 6th IAEG Congress, Amsterdam. 2: 1045–1051.
— , Hyvönen, E., Mäkitalo, K. & Sutinen, M-L. 1993a. Soil classification using dielectric and gamma-ray moisture detection: Potential aid for forest regeneration. Käsikirjoitus. 9 s.
— , Hyvönen, E., Mäkitalo, K., Sandström, O. & Sutinen, M-L. 1993b. Soil moisture requirements for Scots pine (Pinus sylvestris) and Norway spruce (Picea abies) regeneration in Central Finnish Lapland – dielectric and gamma radiation data classification. Käsikirjoitus.
Tikkanen, E. 1985. Aurausalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Summary: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 186. 23 s.
— & Raitio, H. 1984. Pohjois-Suomen aurausalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja olettamus sen syystä. Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed areas in northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 165. 27 s.
Valkonen, S. 1992. Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa. Summary: Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland. Folia Forestalia 791. 84 s.
Valtanen, J. 1988. Korkeiden maiden metsien uudistaminen Oulun läänissä. Summary: Stand reforestation at elevated sites in northern Finland. Folia Forestalia 718. 41 s.
Viro, P. J. 1962. Forest site evalution in Lapland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 55(9). 14 s.
Zotimov, N.V. 1971. Use of the gamma field of the earth to determine the water content of soils. Soviet Hydrology: Selected Papers, issue nb. 4. s. 313–320.

Satelliittikuvainformaation ja paikkatietojärjestelmien käyttö hirven ravintovarojen alueellisessa paikantamisessa

ARI NIKULA

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 ROVANIEMI
EMAIL Ari.Nikula@metla.fi

Johdanto

Hirvien metsätaloudelle aiheuttamiin tuhoihin on Suomessa kiinnitetty huomiota jo 1880-luvulta lähtien (ks. esim. Lääperi & Löyttyniemi 1988a). Taimikoiden hirvituhoriskiin vaikuttavia tekijöitä ovat alueen hirvikannan suuruuden ohella ravinnon laatu, yksittäisen taimikon ominaisuudet sekä hirvien elinympäristön rakenne. Eniten on tutkittu hirvien ravinnonkäyttöä (Kangas 1949, Sainio 1956a, 1956b, Loisa & Pulliainen 1968, Pulliainen ym. 1968, Andersson 1971, Andersson & Markkula 1974, Löyttyniemi & Hiltunen 1978, Pulliainen 1980, Laine & Mannerkoski 1980, Salonen 1982, Haukioja ym. 1983, Löyttyniemi & Piisilä 1983, Rousi 1983, Niemelä & Danell 1988, Heikkilä 1990, 1991, Heikkilä & Mikkonen 1992). Hirven aiheuttamien taimikkovahinkojen määrää ja/tai taimikon ominaisuuksien vaikutusta hirvituhoriskiin on myös selvitetty useissa yhteyksissä (Löyttyniemi 1982, Löyttyniemi & Piisilä 1983, Löyttyniemi & Repo 1983, Lääperi & Löyttyniemi 1988b, Heikkilä 1990, 1991, Heikkilä & Mikkonen 1992). Lähiympäristön vaikutusta taimikoiden hirvituhoriskiin, hirvien habitaatinkäyttöä ja alueen metsikkörakennetta on Suomessa käsitelty vain muutamissa tutkimuksissa (Kangas 1949, Loisa & Pulliainen 1968, Pulliainen 1980, Ilvesniemi 1982, Repo & Löyttyniemi 1985).

Tarkemmin on kuitenkin selvittämättä, miten tietyllä alueella olevien ravintovarojen sijoittuminen tai keskittyminen vaikuttavat samalla alueella sijaitsevien taimikoiden hirvituhoriskiin. Samoin alueen kuviorakenteen vertailut hirvituhoille alttiiden taimikoiden

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 79–87.

ja hirvituhoilta välttyneiden taimikoiden välillä puuttuvat. Tähän ovat olleet osaltaan syynä alueellisen tiedon keräämisen työläys ja spatiaalisten aineistojen analysoimiseen sopivien menetelmien ja tekniikoiden puute. Paikkatiedon hallintaan ja analysoimiseen tarkoitettujen ohjelmistojen ja laitteistojen kehittyminen on tehnyt mahdolliseksi analysoida useiden paikkaan liittyvien ominaisuuksien vaikutusta yksittäisten taimikoiden tai tietyllä alueella sijaitsevien taimikoiden hirvituhoriskiin.

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu hirvituhoriskin paikkatietoanalyyseissä tarvittavan informaation tuottamista satelliittikuvalta käyttäen hyväksi paikkatietoaineistoa. Samalla on esitetty malli hirvituhoriskin analyyseissä tarvittavan informaation kokoamisesta ja liittämisestä paikkatietoaineistoksi. Tietoja voidaan käyttää edelleen analysoitaessa hirvituhoriskiin vaikuttavia spatiaalisia tekijöitä.

Aineisto ja menetelmät

Kenttäaineisto

Vuonna 1988 Lounais-Lapissa sijaitsevalta Ilmola-Koroisen suunnittelualueelta mitattiin 156 satunnaisesti arvottua taimikkoa. Mitattujen taimikoiden määrä oli 17 % kaikista suunnittelualueen taimikoista. Suunnittelualueen pinta-ala on n. 5 200 ha.

Jokaisesta taimikosta mitattiin yleistietona pääpuulaji, hirvituhon esiintyminen, aika hirvituhosta sekä pääpuulajin ja mahdollisen lehtipuukerroksen keskikorkeus. Lisäksi jokaisesta taimikosta mitattiin viisi systemaattisesti sjoitettua ympyräkoealaa, joiden säde oli 3,99 m. Ympyräkoealat sijoitettiin siten, että ensimmäinen tuli taimikon keskipisteeseen ja seuraavat siitä 35 m etäisyydelle yksi kuhunkin pääilmansuuntaan. Jokaiselta ympyräkoelalta laskettiin puulajeittain sekä hirven vioittamien että vioitukselta säästyneiden puiden lukumäärä. Mitattujen puiden korkeuden tuli olla välillä 0,5–3,0 m.

Metsätalouden suunnittelutiedot

Metsätalouden suunnittelua varten kootut alueelliset tiedot saatiin Lapin metsälautakunnan TASO-järjestelmästä (Tapion alueellinen suunnitteluohjelmisto). TASOon on suunnittelualueittain koottu kuvioittaiset tiedot kasvupaikasta, puustosta, monikäytöstä, erityispiirteistä, hakkuuehdotuksista sekä hoito- ja perusparannusehdotuksista (TASO... 1987). Jokaisen kuvion TASOsta saadut ominaisuustiedot samoin kuin maastossa mitattujen kuvioiden ominaisuustiedot liitettiin tietokantaan kuvionumeron perusteella.

Alueen digitoidut metsätalouskartat muunnettiin lohkoittain ARC/INFOn käyttämään muotoon ja jokaiselle kuviolle annettiin TASOa vastaava kuvionumero siten, että siihen liitettiin lohkoa ilmaiseva numero. Karttojen koordinaattitiedot muunnettiin karttakoordinaatistosta yhtenäiskoordinaatistoon muunnosohjelman avulla. Lopuksi jokaisen lohkon kartat liitettiin yhdeksi kartaksi.

Satelliittikuvien luokittelu

Landsat TM -satelliittikuvalta (rata 191, kuvauspiste 14, lohko A, kuvattu 20.7.1987) leikattiin suunnittelualueen kattava alue. Kuva kiinnitettiin tämän jälkeen yhtenäiskoordinaatistoon mittaamalla peruskartalta selvästi erottuvien maastonkohteiden paikat ja osoittamalla niiden vastinpikselit satelliittikuvalta. Koordinaattien osoittamisen jälkeen kuva oikaistiin käyttäen menetelmää, jossa oikaistun kuvan pikselien arvot saadaan jokaiselle kanavalle liittämällä niihin oikaistavasta kuvasta vastaavan kanavan lähimmän pikselin arvo (nearest neighbor interpolation).

Oikaisun jälkeen luokittelu tehtiin erikseen pääkomponenttianalyysin tuloksena saaduille ns. synteettisille kanaville, NDV-indeksin avulla lasketulle kuvalle, tasseled cap -muunnoksen avulla lasketulle kuvalle ja raakakuvalle käyttäen kanavia 1–5 ja 7.

Pääkomponenttianalyysillä voidaan laskea uudet, keskenään lineaarisesti riippumattomat kanavat, jotka ilmaisevat suurinta, toiseksi suurinta jne. kanavien säteilyarvojen vaihtelua. Pääkomponenttianalyysi tehtiin käyttäen kanavia 1–5 ja 7. Analyysin kolme ensimmäistä komponenttia selittivät 97,65 % kuvan säteilyarvojen vaihtelusta ja näitä käytettiin varsinaisessa luokituksessa.

NDV-indeksillä voidaan kuvata alueen yleistä "vihreyttä" ja se perustuu näkyvän punaisen ja lähi-infran (Landsat TM -kuvissa kanavat 3 ja 4) suhteeseen.

Tasseled cap -muunnos on alunperin MSS-keilaimen kanaville laskettu ja sittemmin myös TM-keilaimelle tehty lineaarinen muunnos, jota käytetään yleisimmin maatalouden viljelyalueiden tarkasteluun. Muunnoksen tuottamat kanavat kuvaavat alueen vihreyttä, peitteettömän maaperän kirkkautta, keltaisuutta ja luokittelematonta säteilyarvojen vaihtelua.

Luokittelua varten maastossa mitatut kuviot jaettiin niiden sisältämän lehtipuumäärän perusteella neljään luokkaan; 2 500–5 000 kpl/ha, 5 001–10 000 kpl/ha, 10 001–20 000 kpl/ha ja yli 20 000 kpl/ha. Kuhunkin luokkaan kuuluvista taimikoista puolet poimittiin satunnaisotannalla ARC/INFO-tietokannasta ja niiden kuviorajat osoitettiin luokittelussa käytetylle ERDASin SEED-ohjelmistolle (Erdas Field Guide 1991). SEED-ohjelma laskee kuviorajojen sisältämien kuvaelementtien säteilyarvojen jakauman, jonka avulla muodostetaan kuvion ns. säteilypiirre (signature). Kuviorajat osoitettiin kullekin luokiteltavalle kuvalle erikseen. Lopuksi kunkin

luokan säteilypiirteet yhdistettiin yhdeksi ERDASin SIGMAN-ohjelmistolla.

Kuhunkin luokkaan kuuluvista taimikoista jätettiin puolet luokittelun testaamista varten. Täten luokitteluun oli käytössä luokassa 2 500–5 000 kpl/ha 9 taimikkoa, luokassa 5 001–10 000 kpl/ha 15 taimikkoa, luokassa 10 001–20 000 kpl/ha 28 taimikkoa ja luokassa yli 20 000 kpl/ha 18 taimikkoa.

Luokittelu tapahtui ERDASin MAXCLAS-ohjelmalla, joka käyttää maximum likelihood -menetelmää (Erdas Field Guide 1991). Luokittelun onnistuminen tarkastettiin piirtämällä testiaineistona olleiden taimikoiden rajat kussakin luokassa luokitellun kuvan päälle ja laskemalla kuvion sisällä olleiden oikeaan luokkaan osuneiden kuva-alkioiden määrä. Luokittelu katsottiin oikeaan osuneeksi, mikäli kuva-alkioista yli puolet oli luokiteltu tarkastelun kohteena olevaan luokkaan. Virheluokituksissa kirjattiin ylös myös se, mihin luokkaan kuvio oli luokiteltu.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

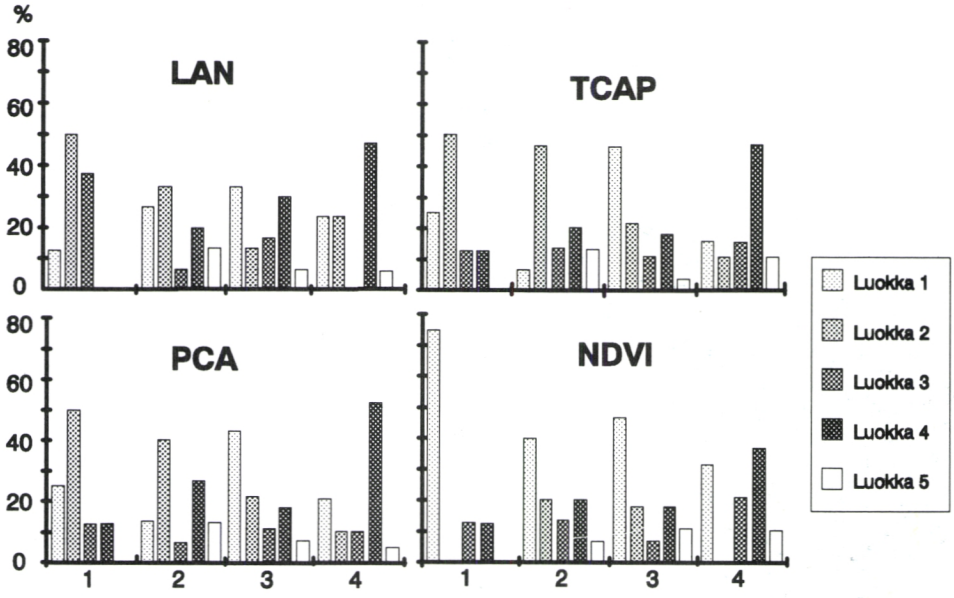
Luokittelun tulokset on esitetty kuvassa 1. Parhaiten luokitus onnistui kaikilla luokittelutavoilla, kun lehtipuun määrä hehtaaria kohden laskettuna oli yli 20 000 kpl (kuva 2). Tällöin myös suuri osa virheluokituksista sattui viereiseen luokkaan. Alimmissa lehtipuuluokissa (alle 10 000 lehtipuuta/ha) luokittelun hyvä onnistuminen johtuu ilmeisesti siitä, että taimikoiden säteilypiirteet tulevat liian laajoiksi, mikäli pintakasvillisuutta ja muita taimikon säteilypiirteisiin vaikuttavia tekijöitä ei oteta huomioon. Käytetyt menetelmät osuivat oikeaan tiheimmässäkin lehtipuuluokassa vain noin puolessa kaikista tapauksista, mitä ei vielä voida pitää tyydyttävänä. Laskettaessa yhteen luokat 10 001–20 000 ja yli 20 000 lehtipuuta hehtaarilla, saatiin tiheimmän luokan säteilypiirteiden avulla oikea tulos noin 2/3 luokitelluista taimikoista.

Syitä luokittelutulosten suureen hajontaan on useita. ERDAS SEED -ohjelma käyttää kuvion säteilypiirteiden laskemisessa hyväkseen kaikkia kuvion sisään rajoittuvia kuva-alkioita, mikäli kuviot rajataan vektoriaineiston perusteella (Erdas Field Guide 1991). Käytetyssä taimikoiden inventointimenetelmässä puolestaan laskettiin lehtipuumäärä taimikon keskipisteestä. Tällöin varsinkin laajoissa taimikoissa puustomäärän vaihtelu ja toisaalta pienialaisissa taimikoissa kahden kuvion rajalle osuvien kuva-alkioiden säteilyarvot voivat antaa kuviolle mittauskohdasta poikkeavan säteilypiirteen. Luokituksessa ei myöskään otettu huomioon taimikon muita heijastussäteilyyn vaikuttavia tekijöitä, jolloin varsinkin harvoissa taimikoissa alemman pintakasvillisuuden vaikutus nousee merkittäväksi.

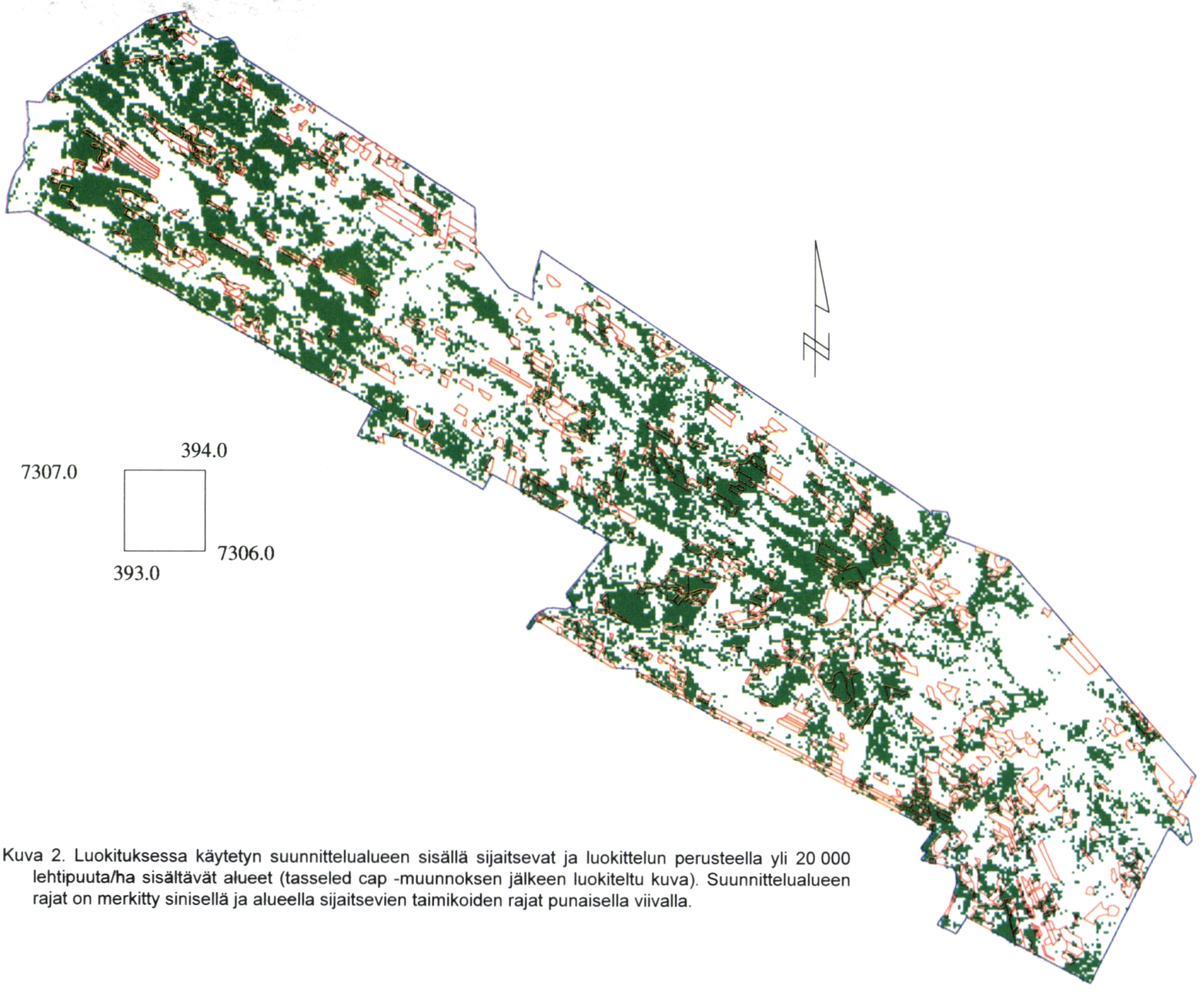
Useiden tutkimusten mukaan lehtipuuvaltaiset kuviot voidaan paikantaa satelliittikuvilta kohtuullisen luotettavasti. Hämeen (1984) mukaan Landsat MSS -kuvasta tehdyllä pääkomponenttianalyysillä voidaan erottaa taimikoiden lehtipuusekoituksessa useita luokkia.

Hirvituhoanalyyseissä tarvittava paikkatietoaineisto voidaan koota useista osista (kuva 3). Satelliittikuvainformaation käyttö esim. metsätalouden suunnittelutietojen lisäksi on tarpeellista, sillä metsätalouden suunnittelutietoja kerättäessä päähuomio on puuntuotannossa, jolloin esim. hirven kannalta tärkeät ravintokohteet jäävät kirjaamatta. Tapion ohjeiden mukaan myös tapa, jolla kuviointi tehdään, jättää huomiotta hirvelle sopivat kohteet. Tämä johtuu siitä, että kuviot erotetaan kolmen päätekijän mukaan, jotka ovat puuston kehitysvaihe, toimenpidetarve ja maapohja (TASO...1987). Kuvioita muodostettaessa kirjattavien tunnusten määrä on pienempi ja suurpiirteisempi kitu- ja joutomailla, eikä esim. kehitysluokkaa merkitä muulla kuin metsämaalla tai metsitettävällä maatalousmaalla.

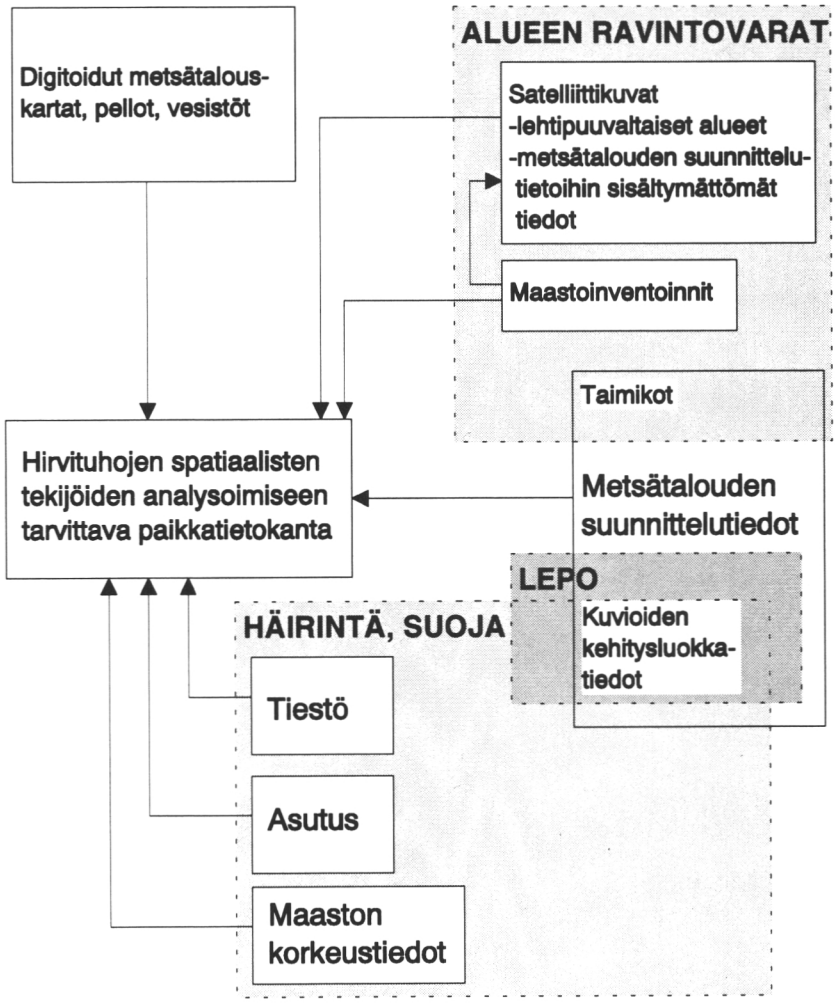
Metsätalouden suunnittelutietojen käyttö osana paikkatietoaineistoa on kuitenkin perusteltua, sillä niihin voidaan liittää tiedot samoilla alueilla tehdyistä hirvituhoinventoinneista. Lisäksi vastaavat tiedot on tallennettu metsähallituksen PATI-järjestelmään, jolloin aineistoja yhdistelemällä ja satelliittikuvainformaatiota käyttämällä alueiden tarkastelut voidaan tehdä maanomistajasta riippumatta.



Kuva 1. Testiaineiston osuminen eri lehtipuuluokkiin kussakin luokassa eri tavoin luokitelluissa kuvissa. LAN = kanaviin 1–5 ja 7 perustuva luokitus, TCAP = tasseled cap -muunnos, PCA = pääkomponenttianalyysi, NDVI = natural differentation vegetation - indeksi.



Kuva 2. Luokituksessa käytetyn suunnittelualueen sisällä sijaitsevat ja luokittelun perusteella yli 20 000 lehtipuuta/ha sisältävät alueet (tasseled cap -muunnoksen jälkeen luokiteltu kuva). Suunnittelualueen rajat on merkitty sinisellä ja alueella sijaitsevien taimikoiden rajat punaisella viivalla.



Kuva 3. Hirvien taimikoille aiheuttaman riskin spatiaalisten tekijöiden analysoimiseen tarvittavan paikkatietokannan osat. Hirven käyttäytymiseen vaikuttavat spatiaaliset tekijät muodostuvat alueen ravintovaroista sekä häirintään, suojaan ja lepoon liittyvistä tiedoista.

Kirjallisuus

Andersson, E. 1971. Havaintoja hirven talvisesta ravinnonkäytöstä ja vuorokausirytmistä. Summary: Observations on the winter food and diurnal rhytm of the moose (Alces alces). Suomen Riista 23: 105–118.

— & Markkula, A. 1974. Hirven talviravinnon kemiallisesta koostumuksesta. Summary: The chemical composition of the winter nutrition of the moose. Suomen Riista 25: 15–19.

Erdas Field Guide 1991. Second edition. Version 7.5, July 1991. 394 s.

Haukioja, E., Huopalahti, R., Kotiaho, J. & Nygrén, K. 1983. Millaisia männyntaimia hirvi suosii? Summary: The kinds of pine preferred by moose. Suomen Riista 30: 22–27.

Heikkilä, R. 1990. Effect of plantation characteristics on moose browsing on Scots pine. Tiivistelmä: Männyntaimikon ominaisuuksien vaikutus hirvituhoalttiuteen. Silva Fennica 24(4): 341–351.
— 1991. Moose browsing in a Scots pine plantation mixed with deciduous tree species. Tiivistelmä: Hirven ravinnonkäyttö lehtipuusekoitteisessa mäntytaimikossa. Acta Forestalia Fennica 224. 13 s.
— & Mikkonen, T. 1992. Effects of density of young Scots pine (Pinus sylvestris) stand on moose (Alces alces) browsing. Tiivistelmä: Männyntaimikon tiheyden vaikutus hirven ravinnonkäyttöön. Acta Forestalia Fennica 231. 14 s.
Häme, T. 1984. Interpretation of deciduous trees and shrubs in conifer seedling stands from Landsat imagery. The Photogrammetric Journal of Finland 9(2): 209–217.
Ilvesniemi, H. 1982. Hirvituhot koivun viljelytaimikossa. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 53 s.
Kangas, E. 1949. Hirven metsässä aikaansaamat tuhot ja niiden metsätaloudellinen merkitys. Summary: On the damage to the forests caused by moose, and its significance in the economy of the forests. Suomen Riista 4: 62–90.
Laine, J. & Mannerkoski, H. 1980. Lannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun ja hirvituhoihin karuilla ojitetuilla nevoilla. Summary: Effect of fertilization on tree growth and elk damage in young Scots pine stands planted on drained, nutrient-poor open bogs. Acta Forestalia Fennica 166. 45 s.
Loisa, K. & Pulliainen, E. 1968. Winter food and movements of two moose (Alces alces) in northeastern Finland. Annales Zoologici Fennica 5: 220–223.
Lääperi, A. & Löyttyniemi, K. 1988a. Hirvi ja metsätalous. Helsingin yliopisto. Maatalous- ja metsäeläintieteen laitos. Julkaisuja 13. 56 s.
— 1988b. Hirvituhot vuosina 1973–1982 perustetuissa männyn viljelytaimikoissa Uudenmaa-Hämeen metsälautakunnan alueella. Summary: Moose (Alces alces) damage in pine plantations established during 1973–1982 in the Uusimaa-Häme Forestry Board District. Folia Forestalia 719. 13 s.
Löyttyniemi, K. 1982. Männyntaimikkojen hirvivahingot 1950-luvun alussa. Summary: Moose (Alces alces) damage in young pine stands in Finland at the beginning of the 1950s. Folia Forestalia 503. 8 s.
— & Hiltunen, R. 1978. Monoterpenes in Scots pine in relation to browsing preference by moose (Alces alces). Seloste: Männyn monoterpeenikoostumuksen vaikutuksesta hirven ravinnon valintaan. Silva Fennica 12(2): 85–87.
— & Piisilä, N. 1983. Hirvivahingot männyn viljelytaimikoissa Uudenmaan-Hämeen piirimetsälautakunnan alueella. Summary: Moose (Alces alces) damage in young pine plantations in the Forestry Board District Uusimaa-Häme. Folia Forestalia 553. 23 s.
— & Repo, S. 1983. Hirven ja valkohäntäpeuran aiheuttamat metsävahingot: tiedustelun tuloksia 1976 ja 1982. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 103. 13 s.
Niemelä, P. & Danell, K. 1988. Comparison of moose browsing on Scots pine (Pinus sylvestris) and lodgepole pine (Pinus contorta). Journal of Applied Ecology 25: 761–775.
Pulliainen, E. 1980. Hirvieläinten talviset liikunnot ja ravinnonotto. Summary: Winter diet and movements of cervids. A review. Memorandum pro Societas Fauna et Flora Fennica 56: 51–58.
— , Loisa, K. & Pohjalainen, T. 1968. Hirven talvisesta ravinnosta Itä-Lapissa. Summary: Winter food of the moose (Alces alces L.) in eastern Lapland. Silva Fennica 2(4): 235–247.

Repo, S. & Löyttyniemi, K. 1985. Lähiympäriston vaikutus männyn viljelytaimikon hirvivahinkoalttiuteen. Summary: The effect of immediate environment on moose (Alces alces) damage in young Scots pine plantations. Folia Forestalia 626. 14 s.

Rousi, M. 1983. Susceptibility of pine to mammalian herbivores in northern Finland. Seloste: Männyn alttius nisäkästuhoille Pohjois-Suomessa. Silva Fennica 17(4): 301–312.

Sainio, P. 1956a. Hirven talvisesta ravinnosta. Summary: On the feeding of elk in winter. Silva Fennica 88: 24 s.

— 1956b. Hirven talvisesta ravinnosta. Suomen Riista 10: 129–135.

Salonen, J. 1982. Hirven talviravinnon ravintoarvo. Summary: Nutritional value of moose winter browsing plants. Suomen Riista 29: 40–45.

TASO 1987. Metsätaloussuunnittelun maastotyöohje. Keskusmetsälautakunta Tapio. 47 s.

Pohjois-Suomen numeerinen ilmastomalli mesoskaalassa

AULIS RITARI & VESA NIVALA

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
EMAIL Aulis.Ritari@metla.fi
EMAIL Vesa.Nivala@metla.fi

Johdanto

Ilmaston laatu Pohjois-Suomessa määräytyy yleispiirteissään maantieteellisen sijainnin, mantereisuus-mereisyysasteen ja pinnanmuotojen perusteella. Suurin osa alueesta kuuluu pohjoisboreaaliseen kasvillisuusvyöhykkeeseen, jota luonnehtivat kylmät talvet ja viileät kesät sekä kohtalaisen pieni sademäärä (Naturgeografisk... 1977). Mikrotasolla ilmastoon vaikuttaa myös paikalla oleva kasvillisuus.

Alueellista ilmastotietoa kerää Suomessa lähinnä Ilmatieteen laitos. Eri tasoisia havaintoasemia, joista suurin osa sadeasemia, on 600 –700 kpl. Sääasemien havainnot välittyvät nopeasti käytettäväksi maailmanlaajuisessa sääpalvelussa. Ilmastoasemien tietoja käytetään ilmastopalvelun ja tutkimuksen tarpeisiin (observatoriot, lentosääasemat, automaattiset mittausasemat). Mitattuja tunnuksia esitetään raporteissa aikasarjoina ja alueellisina yleistyksinä. Alueelliset tarkastelut on usein esitetty pienimittakaavaisella karttapohjalla. Havainnoitavia suureita ovat mm. auringonsäteily, auringonpaisteen kestoaika, ilman lämpötila, ilmanpaine, tuuli, ilman kosteus, pilvisyys, sademäärä ja sääilmiöt (Ilmasto 1987).

Kasvituotannon kannalta keskeisimpiä säätekijöitä ovat ilman ja maan lämpötila, sademäärä ja säteilyenergia. Kesäaikana tietyn kynnyslämpötilan ylittävät päivittäiset lämpötilahavainnot määrävälein summaamalla saatu lämpösumma korreloi kiinteästi kasvien vuosirytmin ja kasvun kanssa, ja lämpösummasta onkin muodostunut eräs tärkeimpiä tietyn kasvupaikan ilmastoa vuoden tai sitä pitemmän ajan perspektiivistä kuvaava tunnus (esim. Henttonen ym. 1986). Kynnyslämpötilana käytetään useimmiten +5 °C.

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 88–98.

Ongelmallista on kuitenkin kuvata riittävän täsmällisesti havaintoasemien välissä olevien kohteiden sääoloja. Tasoitusmenetelminä on käytetty mm. graafista tasoitusta, aritmeettisia keskiarvoja, liukuvia keskiarvoja, trendipintoja ja kriging-interpolointia (Kolkki 1966, Ojansuu & Henttonen 1983, Solantie 1990, Henttonen 1991). Tässä työssä havaintojen alueelliseksi tasoitusmentelmäksi valittiin kriging-interpolointi, joka toisin kuin muut käytetyt menetelmät huomioi paikallisen satunnaisvaihtelun ja mahdollistaa alueellisen luotettavuustarkastelun (Oliver & Webster 1990, Henttonen 1991).

Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja pinnalle tulevan globaalisäteilyn laskenta

Esitettävä numeerinen ilmastomalli on toteutettu keskilämpötilojen esilaskennan jälkeen UNIX-käyttöympäristössä toimivalla paikkatietojärjestelmällä (ARC/INFO). Mallin perusrakenne, so. kuukauden keskilämpötilan laskeminen tiettyyn maantieteelliseen pisteeseen noudattaa Laaksosen (1976a) ja Ojansuun & Henttosen (1983) esittämiä periaatteita. Laskennan toteuttamisesta paikkatietojärjestelmässä seuraa monia etuja: tekijöiden lisääminen on joustavaa, tilastollisia tunnuslukuja ja testejä voidaan laskea alueellisina ja tulosten analyysissä voidaan hyödyntää sekä numeerista että visuaalista tarkastelua. Malli sisältää tässä vaiheessa seuraavat tekijät: kuukausittaiset ilman keskilämpötilat eri vuosilta havaintoasemilla, x-, y-koordinaatit ja vastaava korkeustieto, järvisyys ja merisyys.

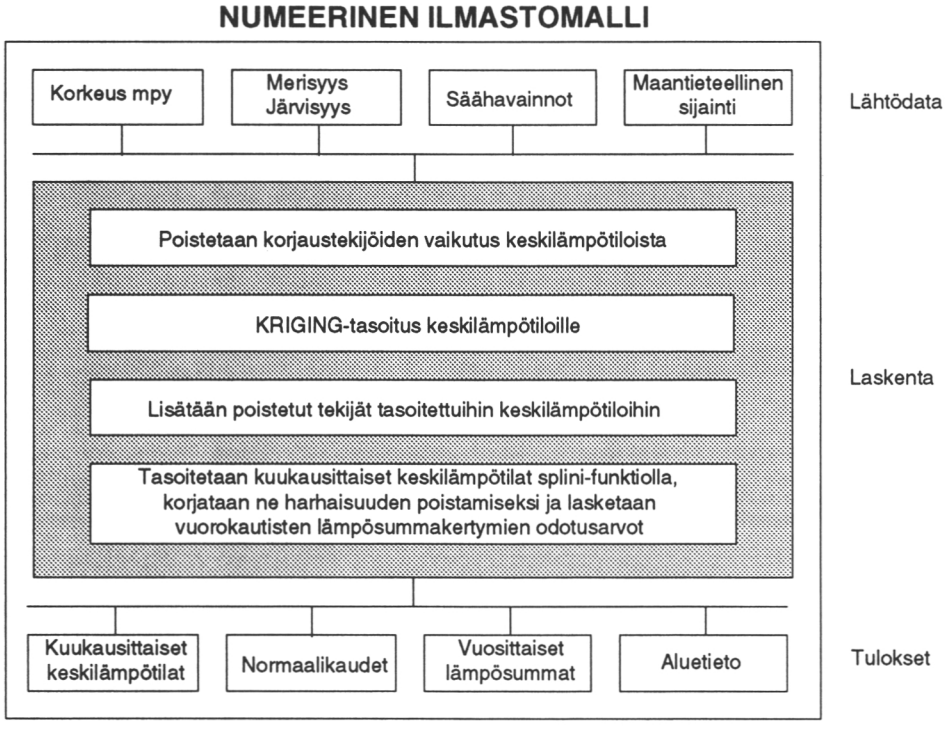
Säähavainnot ovat Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilta, joiden lukumäärä normaalikauden 1962–1990 (WMO) lopussa oli tarkastelualueella 42 kpl (Ilmastohavainnot 1963–1991). Vuorokauden keskilämpötilan laskentaa varten splinifunktiolla tasoitetut kuukauden keskilämpötilat korjataan todellisten ja estimoitujen keskilämpötilojen erotuksilla. Lämpösummakertymä saadaan jakaumaa koskevien oletuksien vuorokauden lämpösummakertymän odotusarvojen summana (Ojansuu & Henttonen 1983).

Käytetty korkeusmalli on 200 × 200 × 200 m matriisiaineisto, joka on digitoitu GT-kartta-aineistosta korkeuskäyrien välit interpoloiden.

Maantieteellisen sijainnin ja korkeuden vaikutus on laskettu kuukausittain Laaksosen (1976c) esittämien gradienttien perusteella.

Merisyys ja järvisyys on 5 × 5 km:n matriisiaineisto. GT-kartalla Suomi on jaettu 5 × 5 km:n ruutuihin. Kuhunkin ruutuun on sijoitettu systemaattisesti 9 pistettä ja meriin tai järviin osuneiden pisteiden lukumäärä on talletettu kustakin ruudusta. Vaikutus kuukauden keskilämpötiloihin on laskettu Ojansuun & Henttosen (1983) kuvaamalla menetelmällä. Merisyyden ja järvisyyden vaikutusta lämpötiloihin laajalla alueella ovat tarkastelleet aikaisemmin Laaksonen (1976b) ja Solantie (1976).

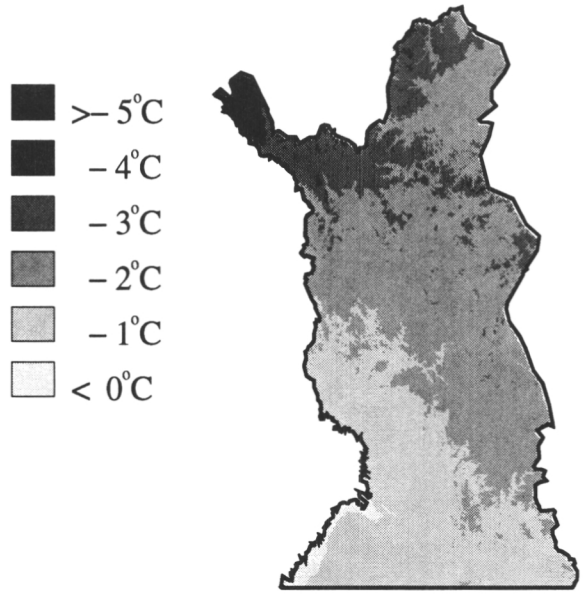
Soisuus sekä rinteen kaltevuusasteen ja suunnan (ekspositio) vaikutus ilman lämpötilaan liitetään malliin jatkossa. Eräiden tekijöiden maastoerotuskykyä harkitaan lisättäväksi uusien jo olemassa olevien aineistojen avulla. Laskenta etenee kuvan 1 mukaan seuraavasti:



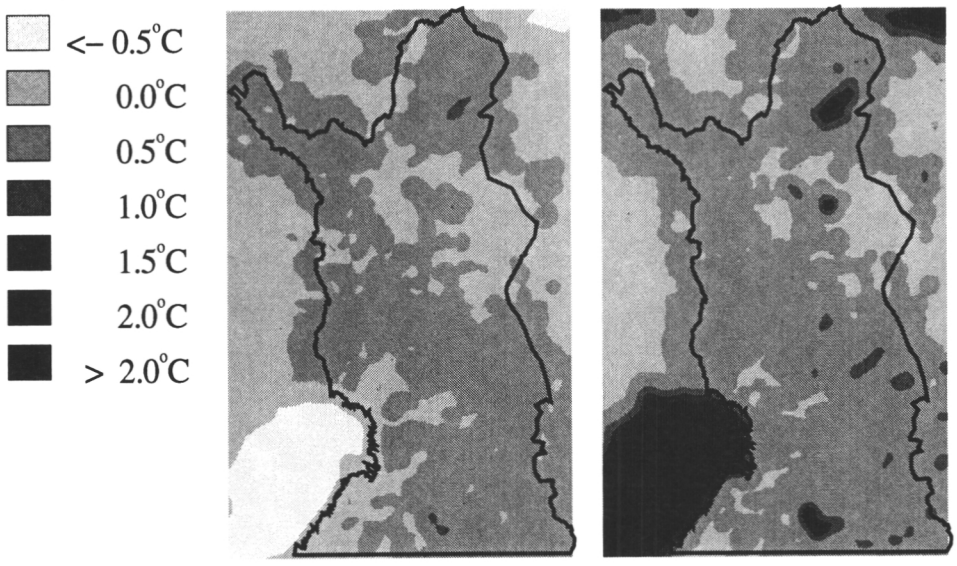
Kuva 1. Keskilämpötilan ja lämpösumman laskenta paikkatietojärjestelmässä.

Lähtöaineistona ovat korkeuspisteistö, merisyys, järvisyys, maantieteellinen sijainti ja kuukausien keskilämpötilat havaintoasemilla.

Valmistelevassa vaiheessa talletetaan vuosittaiset kuukausien keskilämpötilat kullakin havaintoasemalla tietokantaan, esilasketaan korkeuden ja maantieteellisen sijainnin yhteisvaikutus 200 × 200 m ruuduissa (kuva 2), esilasketaan merisyyden vaikutus kuukausittain 200 × 200 m ruuduissa ja esilasketaan järvisyyden vaikutus kuukausittain 200 × 200 m ruuduissa (kuva 3).



Kuva 2. Korkeuden ja maantieteellisen sijainnin (pohjoisuus) yhteisvaikutus keskilämpötilaan heinäkuussa.



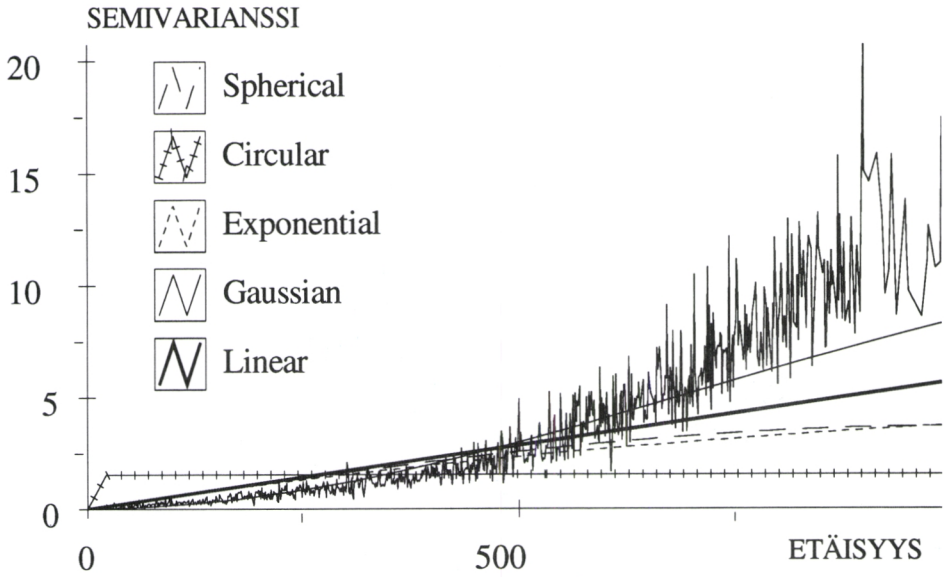
Kuva 3. Merisyyden ja järvisyyden vaikutus kuukauden keskilämpötilaan heinäkuussa (vasen) ja syyskuussa (oikea).

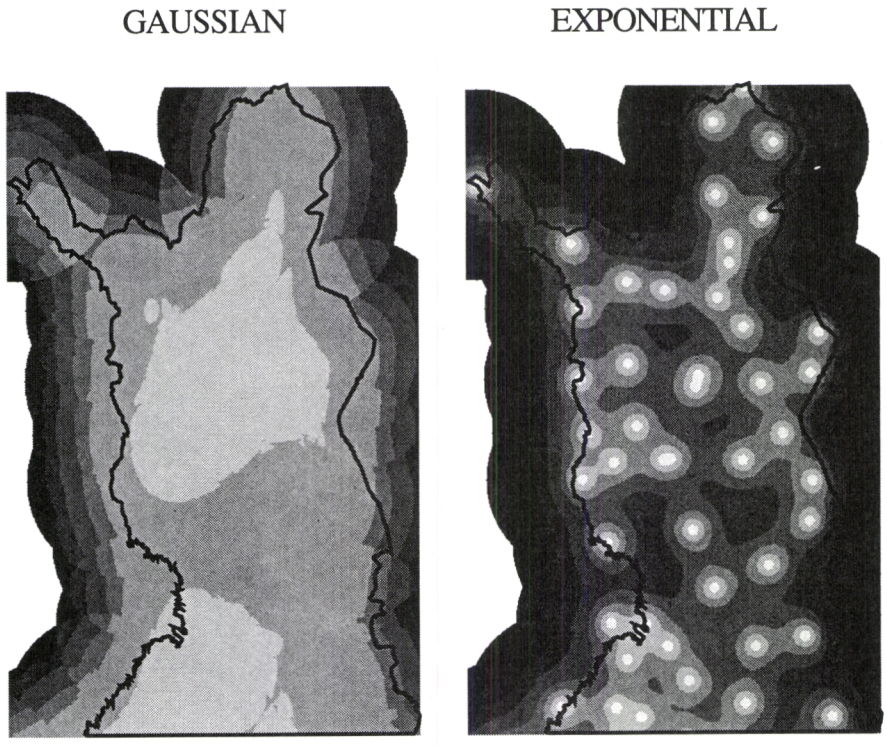
Varsinaisessa laskennassa poistetaan esilaskettujen tekijöiden vaikutus havaintoasemien kuukausittaisista keskilämpötiloista, tasoitetaan kuukausittaiset keskilämpötilat kriging (ordinary)-menetelmällä 200 × 200 m:n ruudukkoon, korjataan ruudukon keskilämpötilat summaamalla niihin esilasketut tekijät sekä lopuksi tasoitetaan ja korjataan kuukausittaiset keskilämpötilat ja lasketaan lämpösummakertymät.

Kriging-tasoitus on laskentaintensiivinen, pitkälle kehittynyt interpolointiprosessi, joka generoi annettujen pisteiden z-arvoista (tarkastelumuuttuja) estimaatin pisteiden väliselle pinnalle. Muista interpolointimenetelmistä poiketen kriging mahdollistaa ensin ilmiön alueellisen käyttäytymisen tutkimisen ja vasta tämän jälkeen siihen parhaiten sopivan varianssimallin käytön. Trendipintamenetelmään verrattuna etuna on mm. se, että kauempana tarkastelualueella oleva vaihtelu ei vaikuta tuloksiin rajatulla paikallisella tasolla, mikä on realistinen lähtökohta ilmastotiedon mesoskaalamallituksessa (Oliver & Webster 1990).

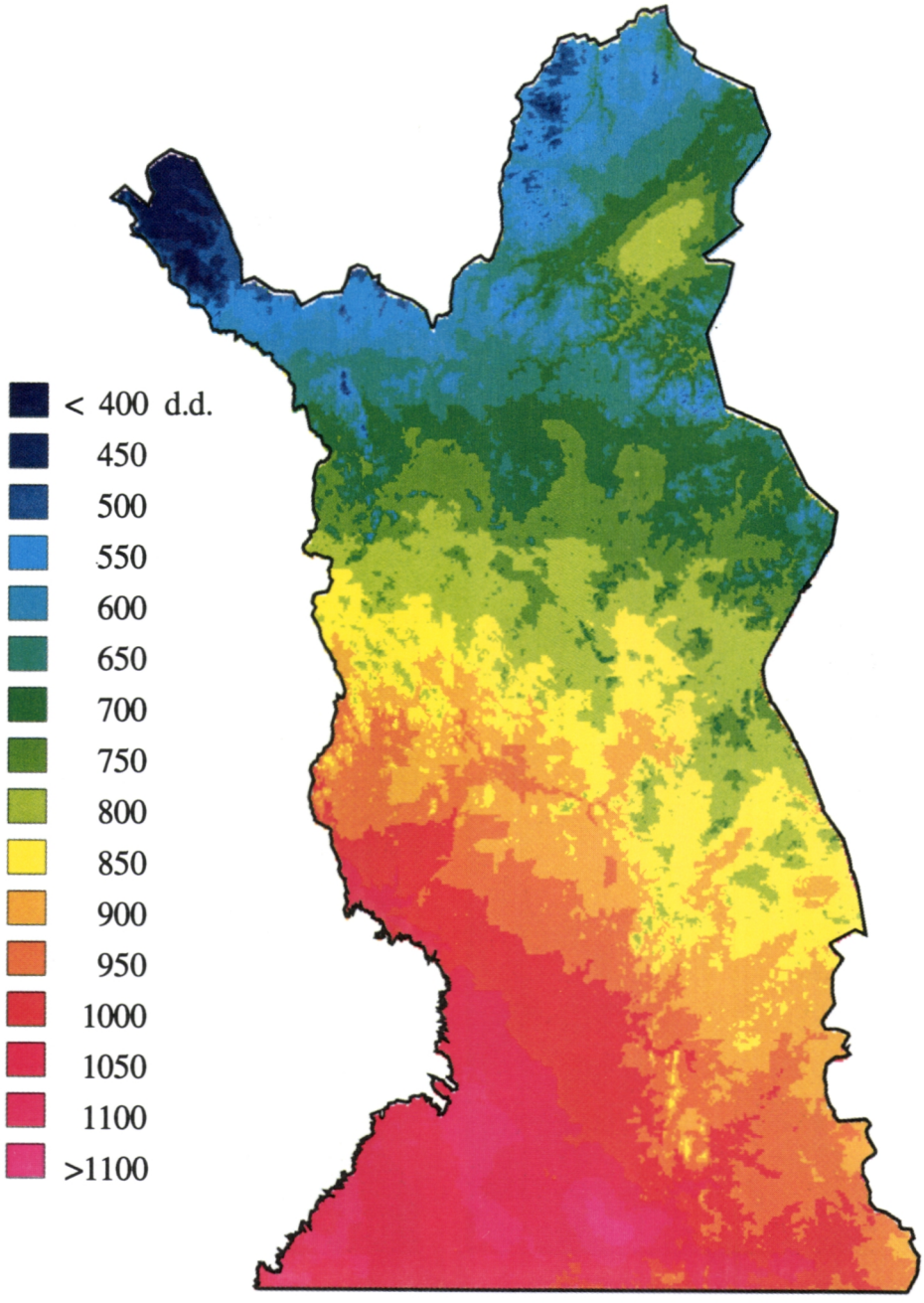
Kriging-menetelmät käyttävät alueellisen vaihtelun mallintamiseen matemaattisia funktioita ja perustuvat alueellisen muuttujan teoriaan, joka olettaa, että z-arvojen alueellinen vaihtelu ilmiön ympärillä on homogeeninen (Matheron 1971). Aineisto, jonka joidenkin z-arvojen tiedetään olevan anomaliapiikkejä, ei sovellu sellaisenaan krigingillä suoritettavaan interpolointiin, mutta poikkeavat havainnot voidaan käytetyssä paikkatietojärjestelmässä rajata harkinnan mukaan laskennan ulkopuolelle (Grid...1992). Vaihtelua mitataan käyttäen ns. semivarianssia, joka on puolet z-arvoparien keskimääräisestä neliöidystä erotuksesta. Tarkastelu tapahtuu luomalla erillinen semivariogrammi, jossa y-akselilla on semivarianssi ja x-akselilla etäisyys pisteiden välillä. Lyhyillä etäisyyksillä pisteiden välinen semivarianssi on pieni kasvaen etäisyyden lisääntyessä. Semivariogrammin luomisen yhteydessä saatava kynnysarvo (sill) ilmoittaa sen maksimietäisyyden pisteiden välillä, jonka jälkeen vaihtelu z-arvojen välillä ei enää korreloi alueellisesti (kuva 4).

Kuvassa 5 normaalikauden 1961–1990 pienimittakaavainen lämpösummakartta on laskettu edellä kuvatulla mallilla vuosittaisten tulosten keskiarvoista, jolloin varianssimallit on voitu valita kuukausittain ja vuosittain. Tällöin on myös voitu käyttää hyväksi tasoituksessa lukumäärältään lisääntyneiden ilmastoasemien havaintoja sekä ottaa huomioon vuosittaiset alueelliset vaihtelut sääoloissa.





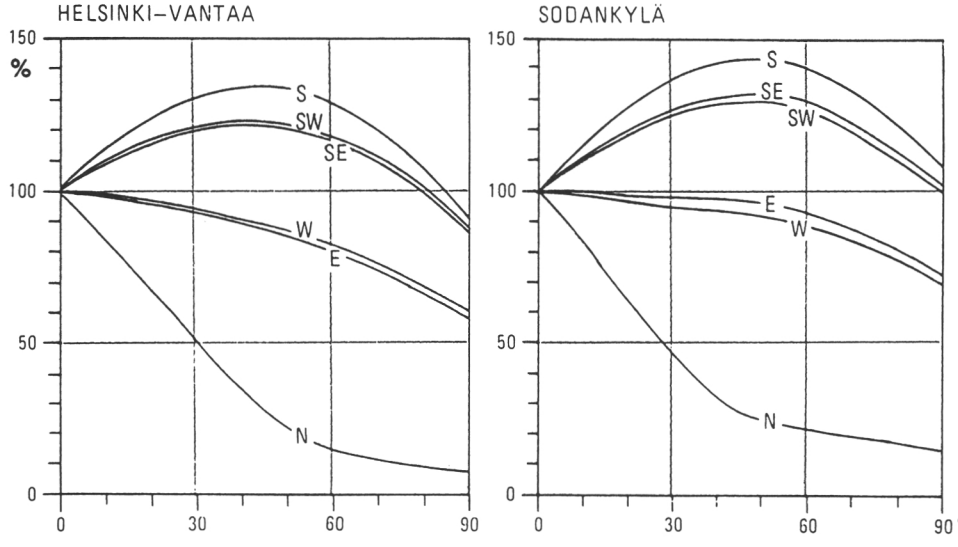
Kuva 4. Keskilämpötilan semivarianssi etäisyyden funktiona (yläkuva) ja kahden eri tasoitusmallin varianssi alueellisena esimerkkiaineistossa heinäkuulta 1989 (alakuvat).



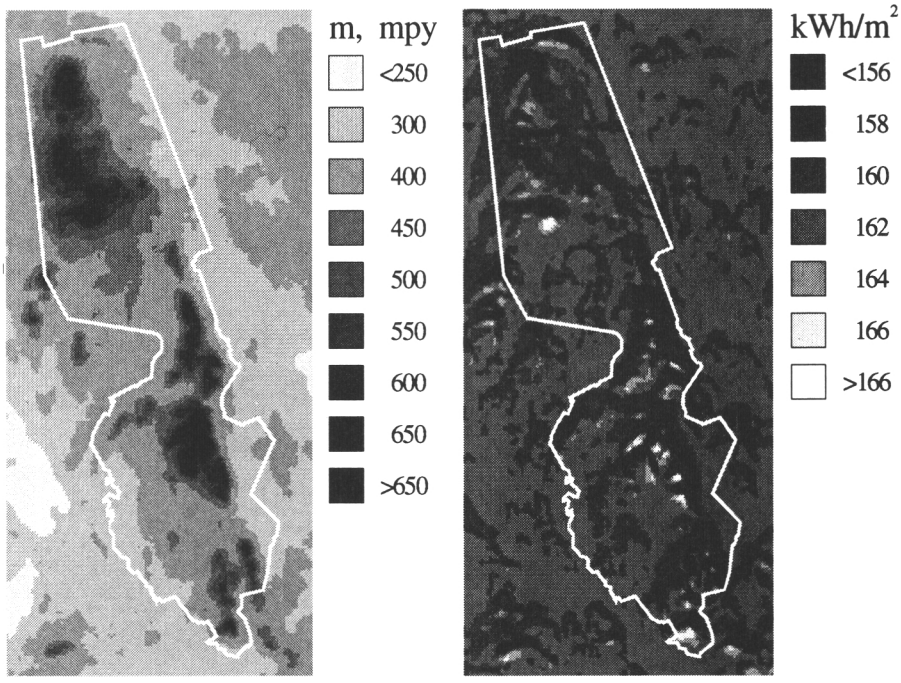
Kuva 5. Lämpösumma Pohjois-Suomessa normaalikautena 1961–1990. Laskenta on tehty vuosittaisten tulosten keskiarvoista 200 x 200 m ruuduissa.

Rinteen suunnalla ja kaltevuudella on tunnetusti vaikutusta tarkastelupaikan ilmastoon jopa niin, että ilmastoa tarkoittava sana "klima"- tulee kreikankielisestä sanasta viettää. Se, miksi etelärinne on kesällä lämpimämpi kuin pohjoisrinne, voidaan selittää pääosin tulosäteilyeroilla (kuva 6). Kauniina kesäpäivänä globaalisäteilyn ja maanpinnan läheisen ilmakerroksen lämpötilan välillä voidaan todeta kiinteä riippuvuus (Odin 1976). Advektiosta ja auringon säteilyn tulokulman muuttumisesta (hajasäteilyn osuus kasvaa) johtuen riippuvuus ei ole syksyllä enää yhtä selvä.

Kun tarkastelu tehdään suurimittakaavaisena, on mahdollista tutkia ilmastotunnuksia sadoista metreistä muutaman kilometrin etäisyyksillä. Kuvassa 7 nähdään kaltevuuden ja eksposition vaikutus pinnalle tulevaan globaalisäteilyyn heinäkuussa Pallas-Ounastunturin kansallispuistossa. Aineisto pinnalle tulevan auringon säteilyn laskemiseksi kuukausikeskiarvoina on Sodankylän havainnoista vuosilta 1971–1980 (Tammelin & Hyvönen 1989). Verrattaessa alueen säteilykarttaa korkeusmalliin ja ottamalla huomioon edellä mainittu globaalisäteilyn ja maanläheisen ilmakerroksen lämpötilan välinen riippuvuus, todetaan jatkossa olevan tarve sisällyttää rinteiden kaltevuuden ja kaltevuussuunnan vaikutus lämpötiloja käsittelevään ilmastomalliin.



Kuva 6. Suoran auringonsäteilyn suhteellinen vuotuinen jakautuminen kalteville, eri suuntaisille pinnoille verrattuna vaakasuoran pinnan säteilyyn Helsingissä ja Sodankylässä (Ilmasto 1987).



Kuva 7. Pallas-Ounastunturin kansallispuiston korkeusvyöhykekartta (vasen) ja maanpinnalle tuleva globaalisäteily heinäkuussa (oikea).

Tulosten tarkastelu

Kuvatulla numeerisella ilmastomallilla voidaan tässä vaiheessa laskea vuosittainen keskilämpötila ja lämpösumma mielivaltaiseen pisteeseen, tarkastella paikkatietojärjestelmän avulla tilannetta laajalla alueella sekä muodostaa aikasarjoja yksittäiseen pisteeseen. Kriging-menetelmä sopii lämpötilojen ja sadesummien alueelliseen tasoitukseen sekä teoreettisen perustansa että vertailututkimusten perusteella (Henttonen 1991). Kun ilmastohavaintoja tulevaisuudessa tuotetaan havaintoasemille tai karkeaan hilaan jakaumatietojen tai ennustemallien avulla (Posch 1992), voidaan tarkempi alueellinen data tuottaa kuvatulla mallilla.

Soisuus on pinta-alallisesti järvisyyttä merkittävämpi tekijä Pohjois-Suomessa. Pienimittakaavaisessa tarkastelussa eri suuntiin viettävien rinteiden pinta-alat, rajauksista riippuen, eivät välttämättä kompensoi toisiaan, jolloin alueelle ilman ekspositiokorjausta laskettu keskilämpötila voi olla harhainen. Jatkokehittelyssä malliin pyritään sisällyttämään soisuuden, kaltevuuden ja kaltevuussuunnan ohella myös muiden maaston muotojen sekä kasvillisuustyyppien vaikutus. Tämä edellyttää säteily/energiatasemallin käyttöä. Perustietoina tarvitaan säteilyhavaintoja, korkeusmalli, satelliittikuvainformaatiota (pintatyypit, albedot) sekä maa-

han ja kasvillisuuteen liittyvää parametritietoa (esim. Deardorff 1978, Parlow 1989). Mallin rakentamisen tulee perustua meteorologisten ilmiöiden käyttäytymisen tuntemiseen eri mittakaavoissa ja todentamiseen mitatuilla aineistoilla. Lisää maastoaineistoja tarvitaan esimerkiksi energiatasemallien testaamiseksi ja käytetyn lämpötilan korkeusgradientin tarkkuuden arviointia varten tunturialueilla. Työssä käytetyt Laaksosen (1976c) gradientit perustuvat Fennoskandian alueelta olevaan aineistoon, jossa ilmastoasemien korkeusvaihtelu on suurempi kuin pelkästään Suomen alueelta olevassa aineistossa (vrt. Ojansuu & Henttonen 1983).

Yhdessä metsikkötason tietojen kanssa numeerinen ilmastomalli tarjoaa tutkimukselle ja käytännölle apuvälineen moniin sovelluksiin. Näitä ovat esimerkiksi maan ominaisuuksien vaikutuksen määrittäminen suhteessa kasvupaikan tuotoskykyyn, siemenkeruualueiden rajaus ja tuleentumisen seuranta sekä ilmastomuutoksen vaikutuksen alueellinen ennakointi.

Kirjallisuus

Deardorff, J.W. 1978. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation. Journal of Geophysical Research 83(4): 1889–1903.

Grid Command References 1992. Environmental Systems Research Institute, Inc., ArcInfo Command References. 88 s.

Henttonen, H. 1991. Kriging in interpolating July mean temperatures and precipitation sums. University of Jyväskylä, Reports from the Department of Statistics 12. 41 s.

— , Kanninen, M., Nygren, M. & Ojansuu, R. 1986. The maturation of Pinus Sylvestris seeds in relation to temperature climate in northern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 1: 243–249.

Ilmasto 1987. Maanmittaushallitus ja Suomen Maantieteellinen Seura, Suomen Kartasto, vihko 131. 32 s.

Ilmastohavainnot 1961–1990. Ilmatieteen laitos, Suomen Meteorologinen Vuosikirja, niteet vuosilta 1963–1991.

Kolkki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931–1960. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan 65, osa 1a - 1965. 42 s.

Laaksonen, K. 1976a. Factors affecting mean air temperature in Fennoscandia, October and January 1921–1950. Fennia 145. 93 s.

— 1976b. Seasonal variations in the influence of seas and inland waters upon mean air temperature in Fennoscandia (1921–1950). Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III 120. 33 s.

— 1976c. The dependence of mean air temperatures upon latitude and altitude in Fennoscandia (1921–1950). Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III 119. 19 s.

Matheron, G. 1971. The theory of regionalized variables and its applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau, No. 5, Paris. 211 s.

Naturgeografisk regionindelning av Norden 1977. Nordiska Ministerrådet, Nord 1977:34. 2 tabeller, 3 kartor. 2. upplagan 1984.

Odin, H. 1976. Skogsmeteorologiska faktorers förändring med kalhuggning. Del 1. Skogshögsskolan, Institutionen för skogsföryngring, Rapporter och Uppsatser 73. 237 s.

Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. Summary: Estimation of the local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. Silva Fennica 17(2): 143–160.

Oliver, M.A. & Webster, R. 1990. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. International Journal of Geographic Information Systems 4(4): 313–332.

Parlow, E. 1990. Spatial patterns of radiation fluxes using Landsat-TM-data and GIS-techniques. Proceedings of the 9th EARSeL Symposium, Espoo, Finland, 27 June–1 July 1989. s. 441–447.

Posch, M. 1992. Ilmastogeneraattorin kehittäminen. Julkaisussa: Kanninen, M. & Anttila, P. (toim.). Suomalainen ilmakehän muutosten tutkimusohjelma. Tutkimusten väliraportit. Suomen Akatemian julkaisuja 2/92: 243–247.

Solantie, R. 1976. Järvien vaikutus lämpötilan mesoskaala-analyysiin Suomessa. Ilmatieteen laitoksen tiedonantoja 30. 72 s.

— 1990. The Climate of Finland in relation to its Hydrology, Ecology and Culture. Finnish Meteorological Institute. Contributions No. 2. 131 s.

Tammelin, B. & Hyvönen, B. 1989. Laskennalliset auringonsäteilymäärät erisuuntaisille pinnoille Suomessa. Calculated solar radiation incident upon slopes of different oriented surfaces in Finland. Ilmatieteen laitos, Meteorologisia julkaisuja 8. 41 s.

Porolaidunten inventointi kaukokartoitusta ja paikkatietojärjestelmää käyttäen

ALFRED COLPAERT[1], JOUKO KUMPULA[2] & MAURI NIEMINEN[2]

[1]Oulun yliopisto, maantieteen laitos
Linnanmaa, 90570 Oulu
EMAIL Colpaert@oymnt5.oulu.fi
[2]Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Porotutkimus
Koskikatu 33 A, 9600 Rovaniemi

Talvilaidunten liiallinen kuluminen on muodostumassa yhdeksi poronhoidon keskeiseksi ongelmaksi. Kehityksen syitä täytyy etsiä viime vuosikymmenen aikana kohonneista poromääristä ja ohjailemattomasta laidunnuksesta. Porolaidunten käytön tulisi perustua ekologisesti kestävälle periaatteelle eli laidunten kulutus ei ainakaan jatkuvasti saisi ylittää niiden tuottoa. Toisaalta laidunten käyttö pitäisi pystyä mitoittamaan myös siten, että niistä saatu hyöty olisi suurin mahdollinen. Poromäärien sovittaminen edes teoreettisella tasolla laidunten määriin ja tuottoon nähden oikeaksi törmää kuitenkin aina yhteen suureen ongelmaan – erilaisten laiduntyyppien määrien selvittäminen ja laidunten paikantaminen tietyltä alueelta luotettavasti tuottaa vaikeuksia. Satelliittikuvien käyttö on yleistynyt luonnonvarojen kartoittamisessa ja seurannassa mm. kehittyneiden tietokoneohjelmistojen ja parantuneiden tulostinlaitteiden ansiosta. Norjan alueella satelliittikuvien käyttöä on kokeiltu porolaidunten kartoittamisessa ja laidunten tilassa tapahtuneiden muutosten seurannassa hyvin tuloksin (Tømmervik & Lauknes 1987, Johansen & Tømmervik 1990, 1992). Myös Suomen poronhoitoalueella satelliittikuvien käyttöä kokeiltiin lähinnä jäkälälaidunten kartoittamiseen vuosina 1987–1989 (Rantanen ym. 1989). Jäkäliköiden kuluneisuuden ja keskeneräiseksi jääneen tulkintamenetelmän vuoksi laidunten tulkinta onnistui kuitenkin parhaimmillaan ainoastaan tyydyttävästi.

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 99–103.

Kesällä 1992 Oulun yliopiston maantieteen laitos ja Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Porotutkimus käynnistivät tutkimuksen, jonka tarkoituksena on inventoida kuuden eri paliskunnan syys- ja talvilaitumet satelliittikuvatulkinnan ja paikkatietojärjestelmän avulla. Tarkoitus on aluksi tehdä kustakin paliskunnasta alueen kasvillisuutta vastaava laidunluokitus. Paliskunnan rajat, tärkeimmät tiet, asutus ja maatalouden alueet digitoidaan ja siirretään luokitelluille kuville. Tutkimus antaa tietoa kunkin paliskunnan porolaidunten määristä ja sijainnista. Myös tiestön, asutuksen, maatalouden ja erilaisen rakennustoiminnan sijoittumista paliskunnalle tärkeisiin laidunalueisiin nähden selvitetään. Porolaidunten kuntoa ja ravintokasvien määriä selvitetään tutkimuspaliskuntien alueilta maastossa inventoitujen koealueiden avulla.

Tutkimus suoritetaan Oraniemen, Muotkatunturin, Pohjois-Sallan, Alakitkan, Tolvan ja Hossa-Irnin paliskunnista. Näiden paliskuntien alueella on maastossa inventoitu kasvillisuutta erilaisilla laiduntyypeillä sijaitsevilta koealueilta kesinä 1987–90. Laidunluokitukset tehdään Landsat-5 TM -kuvilta GRASS-ohjelmiston avulla. Menetelmänä käytetään ns. ohjattua luokitusta, joka perustuu "maximum likelihood" -algoritmiin. Kanavien 3, 4 ja 5 avulla tulostetaan värikompositio, josta valitaan tiettyjä kasvillisuus- ja laiduntyyppejä edustavia, homogeenisia alueita luokituksen vertailualueiksi. Ohjelmisto laskee kustakin vertailualueesta kaikkien seitsemän kanavan säteilyarvot. Kun erilaiset, alueen tyypillisiä kasvillisuus- ja laiduntyyppejä edustavat vertailualueet on valittu, voidaan koko kuvan luokitus aloittaa. Tällöin jokainen kuvan pikseleistä sijoittuu tiettyyn luokkaan. Kyseiset luokat on siis ennalta määrätty valittujen vertailualueiden perusteella. Luokittunut kuva oikaistaan Suomessa käytettyyn yhtenäiskoordinaatistoon. Valmiiksi luokiteltu kuva siirretään ARC/INFO paikkatietojärjestelmään. Paliskunnan rajat, tiestö ja asutus digitoidaan ja siirretään luokitettuun kuvaan. Paliskunnan ja eri laidunluokkien pinta-alat lasketaan. Koordinaattipisteiden avulla selvitetään maastossa inventoitujen koealueiden jakaantuminen eri laidunluokkiin. Ravintokasvien määrät ja hehtaaribiomassat eri laidunluokissa lasketaan. Lähellä toisiaan olevia luokkia voidaan yhdistää ja luokitettua kuvaa suodattaa selvemmän tulostuksen aikaansaamiseksi. Laidunkarttojen tulostus tapahtuu ARC/INFO-ohjelmalla ja VERSATEC 3436 väripintapiirturilla. Luokituksen luotettavuutta voidaan tutkia maastokoealueiden avulla, mikäli niitä ei ole käytetty apuna luokituksessa. Muuten luokituksen luotettavuus tarkistetaan jälkeenpäin maastossa inventoitujen testipisteiden avulla.

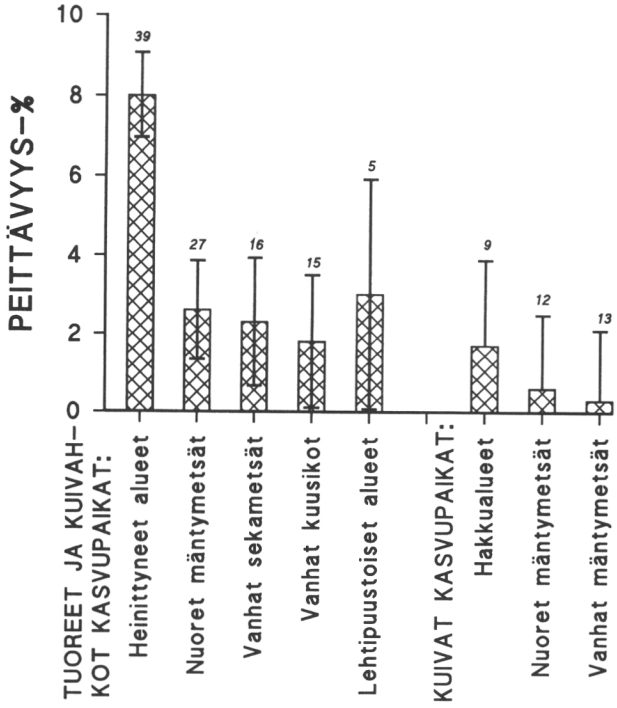
Oraniemen paliskunnan alueen syys- ja talvilaidunten luokitus on valmis. Syyslaitumia ovat kyseisessä luokituksessa etupäässä heinittyneet alueet, keskitalven laitumia kaikki kuivat kasvupaikat ja kevättalven laitumia vanhat kuusikot ja vanhat sekametsät. Eri

luokkien pinta-alat on ilmoitettu taulukossa 1. Porolle tärkeiden syys- ja talviajan ravintokasvien peittävyydet sekä poronjäkälien pituudet eri laidunluokissa näkyvät kuvissa 1, 2 ja 3. Koska maastoon inventoituja koealueita ei suoranaisesti käytetty hyväksi Oraniemen alueen luokitusta tehtäessä, myös luokituksen luotettavuutta on voitu tarkastella. Luokituksen yleinen luotettavuus näyttäisi olevan noin 85 %. Luokituksen lopullinen luotettavuus tarkistetaan ensi kesän aikana.

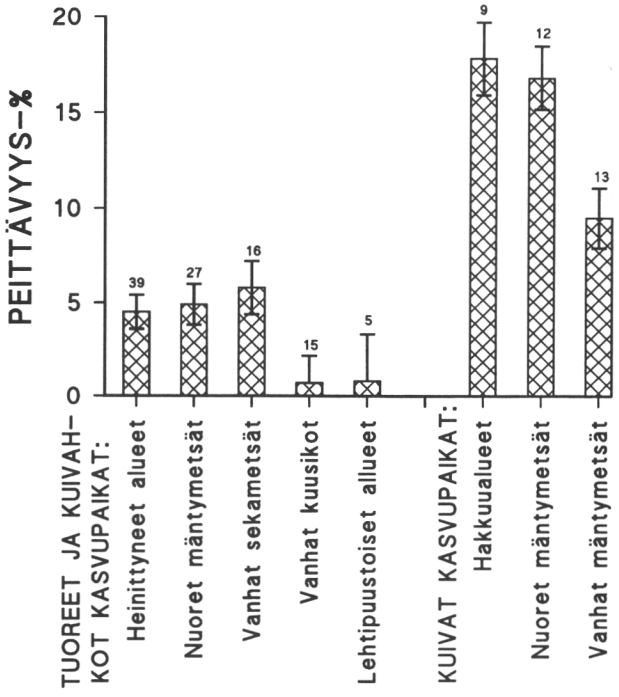
Oraniemen paliskunnan alueelta valmistunut porolaidunten luokitus osoittaa menetelmän soveltuvan hyvin erilaisten laiduntyyppien inventointiin paliskuntatasolla. Menetelmä yhdistettynä maastossa tapahtuvaan laidunten tilan seurantaan helpottaa poromäärien sovittamista laidunten määrään ja tuottoon nähden oikeaksi. Myös poronhoidon organisointi ja laidunten käytön suunnittelu helpottuu. Paliskunnille tärkeät laidunalueet pystytään myös entistä paremmin osoittamaan tutkimuksen keinoin.

Taulukko 1. Luokkien pinta-alat ja prosenttiosuudet Oraniemen paliskunnassa.

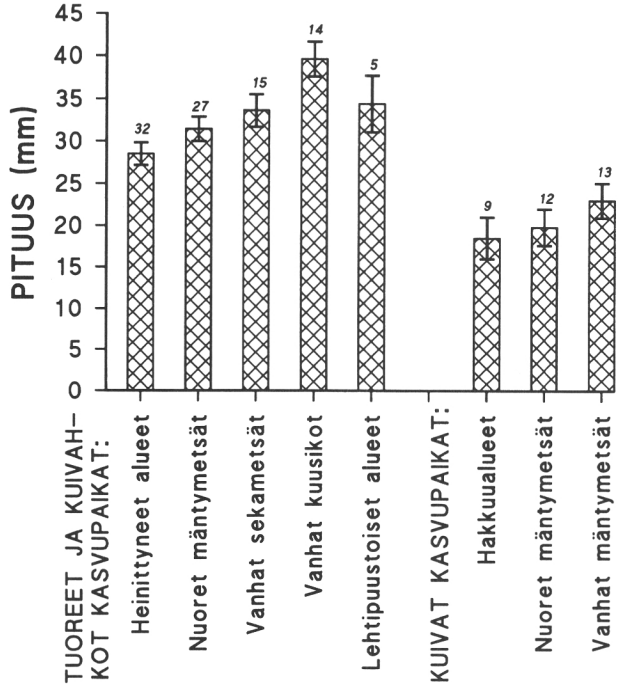
Luokat	km²	%
Tuoreet ja kuivahkot kasvupaikat		
Heinittyneet alueet	777,71	19,90
Nuoret mäntymetsät	685,67	17,55
Vanhat sekametsät	254,55	6,52
Vanhat kuusikot	462,01	11,83
Kuivat kasvupaikat		
Hakkuualueet	58,21	1,49
Nuoret mäntymetsät	91,97	2,35
Vanhat mäntymetsät	59,48	1,52
Muu		
Lakialueet	16,68	0,43
Lehtipuustoiset alueet	131,50	3,37
Puustoiset suot	746,83	19,12
Avosuot	482,69	12,36
Peltoalueet	30,14	0,77
Vesi	45,67	1,17
Luokittelematon	63,48	1,62
Yhteensä	3 906,60	100,00



Kuva 1. Heinämäisten ja ruohomaisten kasvien yhteispeittävyys prosentteina (x ± SE) eri luokissa. Koealueiden lukumäärä (N) on ilmoitettu kunkin pylvään yläpuolella (F = 3,87, P = 0,001, varianssianalyysi).



Kuva 2. Poronjäkälien yhteispeittävyys prosentteina (x ± SE) eri luokissa. Koealueiden lukumäärä (N) on ilmoitettu kunkin pylvään yläpuolella (F = 15,27, P < 0,001, varianssanalyysi).



Kuva 3. Poronjäkälien keskimääräinen, elävän osan pituus millimetreinä (x ± SE) eri luokissa. Koealueiden lukumäärä (N) on ilmoitettu kunkin pylvään yläpuolella ($F = 11{,}89$, $P < 0{,}001$, varianssianalyysi).

Kirjallisuus

Johansen, B. & Tømmervik, H. 1990. Kartleggning av lavheier i Karasjok reinbeitedistrikt. Nasjonal konferanse om medisinsk bildebehandling og fjernanalyse, Tromsø, 28–29 mai 1990. s. 76–81.

— & Tømmervik, H. 1992. Mapping the reindeer grazing effects on the environment in Finnmark, northern Norway, using Landsat data (abstract). Second Circumpolar Symposium On Remote Sensing of Arctic Environments, Tromsø, May 4–6, 1992. s. 35–36.

Rantanen, M., Tomppo, E., Nenonen, S. & Nieminen, M. 1989. Porolaidunten inventointi kaukokartoitusta käyttäen. Tutkimusprojektin loppuraportti. Espoo. 68 s.

Tømmervik, H. & Lauknes, I. 1987. Mapping of reindeer ranges in the Kautokeino area, Northern Norway by use of Landsat 5/TM data. Rangifer 7(2): 2–14.

Metsäntutkimuslaitoksen koetoiminnan tietojärjestelmän nykytila ja prototyyppi tulevaisuuden järjestelmästä

KAI BLAUBERG

Metsäntutkimuslaitos, tietohallintoyksikkö
Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki

Metsäntutkimuslaitoksen hallinnollinen koerekisteri otettiin käyttöön syksyllä 1991, jolloin se korvasi vuonna 1981 valmistuneen "vanhan koerekisterin". Koerekisteriin on tallennettu 19.2.1993 mennessä 5 677 koetta, joka käsittää 5 776 koemetsikköä. Vanhin koerekisteriin tallennettu koe on vuodelta 1867.

Metsänjalostuksen tutkimusosastolla on vastuulla 2 146 koetta, metsänhoidon tutkimusosastolla 1 213 koetta ja metsänarvioinnin tutkimusosaston vastuulla 862 koetta. Kolme suurinta tutkimushanketta ovat: havupuiden jalostusaineiston testaaminen (1 152 kpl), ravinnetalouden hoito turvemailla (619 kpl) ja ulkomaisten puulajien viljely ja hoito (579 kpl). Metsäntutkimuslaitoksen koetoiminta kattaa kaikki maanomistajaryhmät, joista kolme suurinta ovat: Metsäntutkimuslaitoksen omat tutkimusmetsät ja luonnonsuojelualueet (2 416 kpl), metsähallitus (1 844 kpl) ja metsäyritykset (552 kpl).

Koerekisterin tietosisältö jakaantuu kolmeen eri hierarkiatasoon, jotka ovat koe, koemetsikkö ja koeala. Koetasolle on tallennettu kokeisiin liittyviä hallinnollisia tietoja, kuten kokeesta vastaava henkilö, METLAn vastuullinen organisaatioyksikkö, kokeen tarkoitus, tutkimuskohde sekä mahdollisesti julkaisutietoja. Koemetsikkötasolle on tallennettu esimerkiksi metsikön maanomistajatietoja, metsikkökuvaus, puustokuvaus, tietoja toimenpiteistä, koemetsikön sijaintikoordinaatit sekä tietoja mahdollisten tuhojen esiintymisestä. Koealatasolle on mahdollista tallentaa koealakuvaus sekä koealan puustotunnukset, jos ne poikkeavat suuresti koemetsikön tunnuksista.

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 104–105.

Hallinnolliseen koerekisteriin tallennettujen kokeiden sijainti on määritetty tällä hetkellä vain tallentamalla vähintään koemetsiköiden keskipiste yhtenäiskarttakoordinaatistossa. Tämä mahdollistaa yksinkertaiset koordinaatteihin perustuvat haut tietokannasta. Sijaintitietoa voidaan hallita myös paikkatietojärjestelmän avulla. Tässä tapauksessa on mahdollista tehdä niin sijaintiin kuin ominaisuuksiin perustuvia hakuja tietokannasta ja tulostaa hakujen tulokset yhdessä muiden numeeristen kartta-aineistojen kanssa. Tietotauluissa esitettiin METLAn koerekisteriin tallennettujen kokeiden sijoittuminen Suomen alueella sekä teemakarttoja, jossa teemoitus on määritetty maanomistaja-, organisaatioyksikkö-, vastuututkija- sekä tutkimuskohdekoodien mukaan.
Tulevaisuudessa koerekisteriin on mahdollista liittää myös kokeiden koejärjestelyjä kuvaavat koealakartat, jotka voidaan tarvittaessa siirtää rajoitustiedoksi esimerkiksi metsätalouden suunnittelun tietojärjestelmiin. Tietokonedemonstraatiossa esitettiin prototyyppi tämänkaltaisesta järjestelmästä.

Lämpösumman alueellinen vaihtelu Pohjois-Suomessa kymmenvuotisjaksona 1981–1990

AULIS RITARI & VESA NIVALA

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
EMAIL Aulis.Ritari@metla.fi
EMAIL Vesa.Nivala@metla.fi

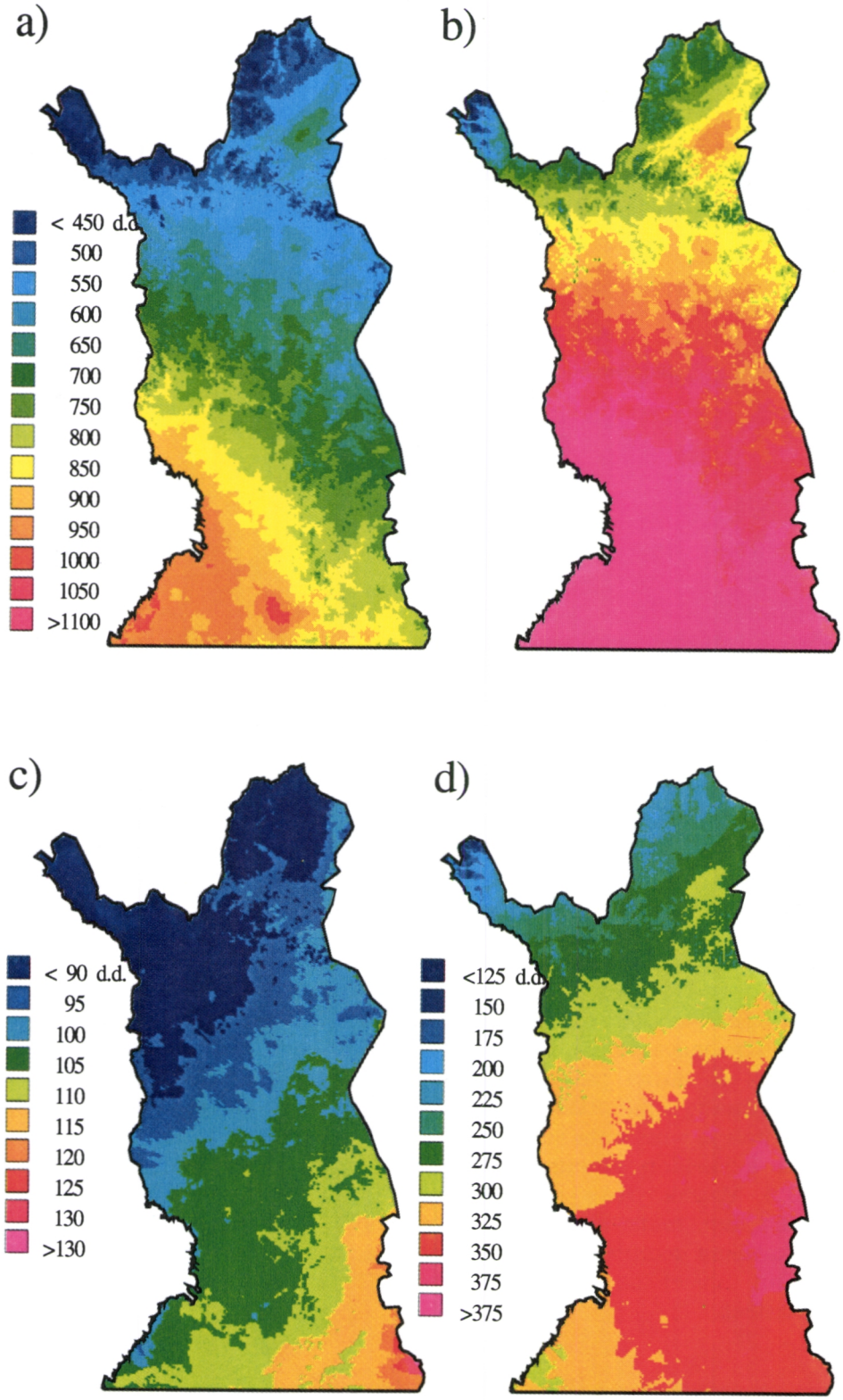
Lämpötilan alueellinen lyhytaikainen vaihtelu on jokaiselle tuttua säätiedotusten perusteella. Minkälaiseksi tilanne muodostuu kasvukauden aikana eri osoissa maata on heikommin tiedossa. Asiaa havainnollistaa vuosittaista lämpösummaa (kynnysarvo +5 °C) kuvaava karttasarja, joka on tuotettu paikkatietojärjestelmään liitetyn ilmastomallin avulla. Kuvissa 1a ja 1b tarkastellaan lämpösumman alueellista vaihtelua esimerkkivuosina 1982 ja 1988 Pohjois-Suomessa (Ritari & Nivala 1993). Lähtötietoina käytetään pysyvien säähavaintoasemien (Ilmatieteen laitos) kuukausittaisia ilmanlämpötilakeskiarvoja kahden metrin korkeudella maanpinnasta. Laskennassa on otettu huomioon paikan maantieteellinen sijainti ja korkeusasema sekä meren ja järvien lähialuevaikutus. Alkuperäisen korkeusmallin pikselikoko on 200 × 200 m. Alueellisen tasoituksen jälkeen tiedot voidaan laskea myös aikasarjana haluttuun pisteeseen.

Kun paikkatietomatriiseilla tehdään laskentaoperaatioita, aineiston jatkojalostuksen tulokset voidaan esittää alueellisina. Tässä on käytetyn tekniikan eräs tärkeä ominaisuus. Kuva 1c esittää lämpösumman havaintopisteittäisen keskihajonnan kymmenvuotisjaksolta 1981–1990. Kuvassa 1d näkyvät "lämpimimmän" (1988) ja "kylmimmän" (1982) vuoden lämpösummien erot.

Kirjallisuus

Ritari, A. & Nivala, V. 1993. Pohjois-Suomen numeerinen ilmastomalli mesoskaalassa. Julkaisussa: Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 88–98.

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 106–107.



Kuva 1a-d. Lämpösumman alueellinen vaihtelu Pohjois-Suomessa vuosina 1982 ja 1988 (kuvat a ja b), havaintopisteittäinen keskihajonta (kuva c) ja vuosien 1988 ja 1982 lämpösummaerot (kuva d).

Tärkeimmät metsätalouskäyttöä rajoittavat aluevaraukset ja alueiden hallinta Pohjois-Suomessa

AULIS RITARI & VESA NIVALA

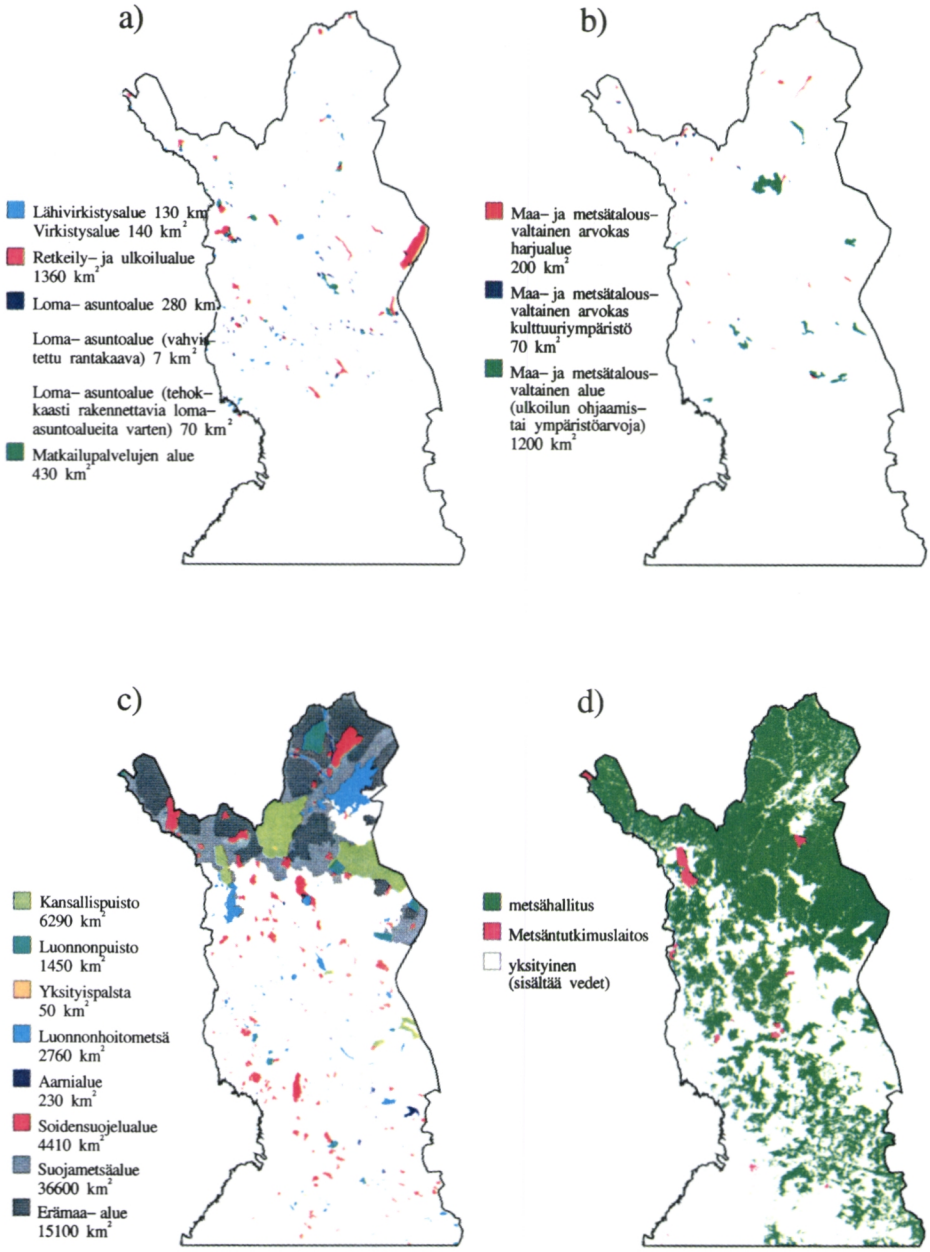
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
EMAIL Aulis.Ritari@metla.fi
EMAIL Vesa.Nivala@metla.fi

Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla on laadittu numeeriset kartat tärkeimmistä aluevaraustyypeistä Pohjois-Suomessa (kuvat 1a, 1b ja 1c). Digitoinnin perusmateriaalina on käytetty alkuperäisen aineiston mittakaavassa olevia julkaistuja karttoja (Lapin seutukaavan ... 1990, Metsähallituksen metsät 1989–1991, Metsähallituksen metsät 1991, Seutukaavan ... 1990) sekä saatavilla olevaa muuta karttamateriaalia (mm. Ympäristöministeriö).

Maiden hallinnasta Pohjois-Suomessa on myös laadittu numeerinen kartta, joka perustuu pääosiltaan Lapin seutukaavaliiton vuonna 1980 julkaisemaan maanomistuskarttaan (Maanomistus ... 1980) täydennettynä Metsäntutkimuslaitoksen ja opetushallituksen hallinnassa olevilla alueilla (kuva 1d).

Numeerisesta kartasta voidaan tulostaa paikkatietojärjestelmässä eri mittakaavaisia ja eri tavoin kombinoituja karttoja. Aluevaraus- ja muita paikkasidonnaisia tietoja yhdistämällä voidaan tehdä analyysejä, jotka eivät aikaisemmin olleet mahdollisia. Maan hallintaa ja omistusta sekä korkeusmallia käyttäen on mm. tarkasteltu korkeiden alueiden rajausvaihtoehtoja (Ritari & Timonen 1992). Maankäyttö- ja hallintatiedot ovat perusmateriaali, jonka avulla mm. metsävaratietoja on mahdollista laskea tarkoituksenmukaisissa ositteissa. Vastaavasti voidaan arvioida, täyttävätkö rajatut alueet ominaisuuksiltaan niille suunnittelussa asetetut tavoitteet.

Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 108–110.



Kuva 1a–d. Kaavamääräysalueet Lapin läänissä (kuvat 1a ja 1b) sekä suojelualueet (kuva 1c) ja alueiden hallinta (kuva 1d) Pohjois-Suomessa.

Kirjallisuus

Lapin seutukaavan 4. osa. 1990. Lapin seutukaavaliitto, Kaavaselostus 80 s. + 6 karttaliitettä (1 : 200 000).

Maanomistus ja maan hinta Lapissa 1980. Lapin seutukaavaliitto, Sarja A, Julkaisu No. 28: 1–48 + karttaliite.

Metsähallituksen metsät 1989–1991. Erikoispainos Suomen tiekartasta 1 : 200000. Maanmittaushallitus. 4 karttalehteä.

Metsähallituksen metsät 1991. Pohjakartta 1 : 500 000, Karttakeskus.

Ritari, A. & Timonen, M. 1992. Kehysmalli korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimuksen suuntaamiselle. Julkaisussa: Nikula, A., Varmola, M. & Lahti, M-L. (toim.). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437: 133–142.

Seutukaavan 1., 2. ja 3. osan yhdistelmäkartta 1990. Lapin seutukaavaliitto, Syyskuu 1990. Pohjakartta 1 : 200 000, Karttakeskus. 6 karttaa.

Aineistot:

Lapin Seutukaavaliitto, Metsäntutkimuslaitos, Opetushallitus ja Ympäristöministeriö.

Rovaniemen tutkimusasemalla ilmestyneet Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-sarjan julkaisut:

N:o 6 Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1981. 1981.

N:o 35 Päivi Hänninen. Sammalen kemiallinen torjunta taimitarhalla. 1981.

N:o 58 Pohjois-Lapin metsät. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1982. 1982.

N:o 65 Yrjö Norokorpi ja Pentti Sepponen (toim.). Kilpisjärven alueen maankäytön yleissuunnitelma. 1982.

N:o 71 Päivi Hänninen. Alustavia päätelmiä kivivillan käytöstä männyntaimen kasvualustana muovihuoneessa. 1982.

N:o 77 Pohjois-Lapin metsien uudistaminen. 1982.

N:o 95 Jarmo Nieminen. Varttuneet kontortametsiköt Kivalon kokeilualueella. 1983.

N:o 105 Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983. 1983.

N:o 148 Pentti Sepponen, Vuokko Pitkänen ja Helena Poikajärvi (toim.). Metsien kasvupaikkaluokitus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1984. 1984.

N:o 157 Erkki Kaila ja Markku Taipale. TUTKA-tiedonhallintaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1984.

N:o 165 Eero Tikkanen ja Hannu Raitio. Pohjois-Suomen aurausalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja olettamus sen syistä. Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed sites in Northern Finland. 1984.

N:o 186 Eero Tikkanen. Aurausalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Abstract: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in Northern Finland. 1985.

N:o 190 Erkki Kaila, Hilkka Kinnunen ja Tapio Timonen. BIB-viitetietokantaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1985.

N:o 196 Olli Saastamoinen ja Helena Poikajärvi (toim.). Tietojärjestelmien kehittäminen metsäalalla. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1985. 1985.

N:o 226 Timo Penttilä ja Mikko Honkanen. Suometsien pysyvien kasvukoealojen (SINKA) maastotyöohjeet. 1986.

N:o 242 Esa Taskinen ja työryhmä. Metsäkanalintujen elinympäristövaatimukset - kirjallisuuskatsaus. 1986.

N:o 243 Timo Penttilä ja Martti Varmola (toim.). Lapin kolmion puuntuotannolliset mahdollisuudet. 1987.

N:o 253 Helena Poikajärvi (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1986. 1987.

N:o 278 Hannu Saarenmaa ja Helena Poikajärvi (toim.). Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. 1987.

N:o 345 Anna-Liisa Sippola. Suojelualuetyypit ja kansallispuistojen suojelun toteuttaminen - kahdeksan esimerkkiä. 1989.

N:o 347 Martti Varmola ja Pertti Palviainen (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. 1990.

N:o 362 Martti Varmola ja Tuija Katermaa (toim.). Metsänparannus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1990. 1990.

N:o 373 Eero Tikkanen and Martti Varmola (eds.). Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the U.S.S.R. A seminar held in Kuusamo. Finland, 25-26 May 1990. 1991.

N:o 378 Pentti Vitikka, Heikki Posio & Hannu Saarenmaa. Hyönteistuhoriski keinotekoisessa ylispuiden kelouttamisessa. Summary: Bark beetle damage in conjunction with artificial snag production in Finnish Lapland. 1991.

N:o 407 Hannu Salminen & Tuija Katermaa (eds.). Simulation of Forest Development. Presentations from a symposium held in Saariselkä, Finland, October 12-14, 1991. 1992.

N:o 410 Anna-Liisa Sippola & Juha-Pekka Rauhala. Acerbin keinosta Jerisjärven tielle. Pallas-Ounastunturin kansallispuiston historiaa. 1992.

N:o 413 Heikki Kauhanen & Martti Varmola (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Abstract: The Lapland Forest Damage Project - Interim report. 1992.

N:o 427 Heikki Eeronheimo, Risto Virtanen, Anna-Liisa Sippola, Pentti Sepponen, Sinikka Salmela & Raimo Pikkupeura. Pallas-Ounastunturin kasvillisuus - Ounastunturin Pyhäkeron alue. 1992.

N:o 437 Ari Nikula, Martti Varmola & Marja-Lea Lahti (toim.) Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992. 1992.

Rovaniemi 1993
ISBN 951-40-1329-8
ISSN 0358-4283