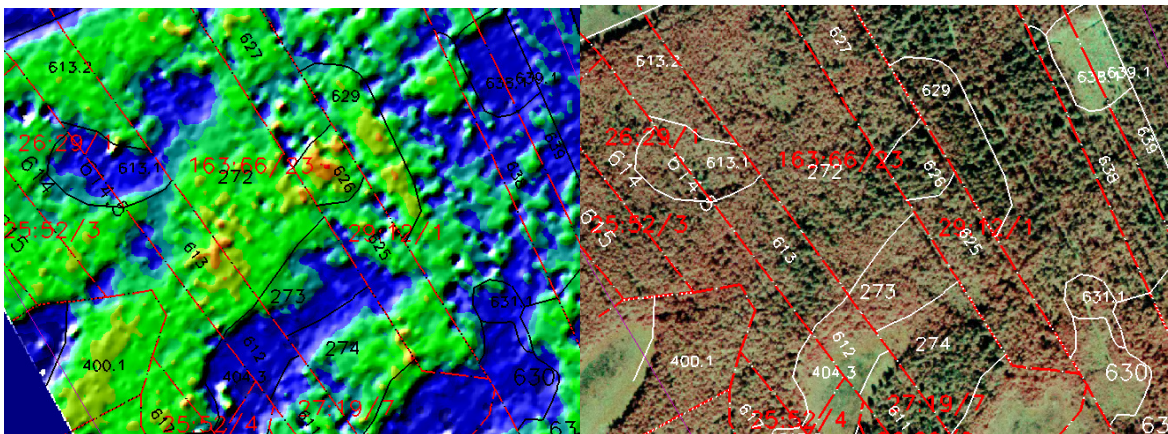


Energiapuukohteiden kaukokartoitus – esiselvitys

Loppuraportti

31.12.2004



Sisällys

1	Hankkeen taustaa	3
2	Esiselvityksen tavoitteet	4
3	Hankkeen toteutus	4
4	Kirjallisuuskatsauksen tiivistelmä	5
5	Tulkintamenetelmät	6
5.1	Koealueen ja aineiston kuvaus	6
5.2	Visuaalisen kuviotulkinnan tulokset	7
5.3	FM-Kartta Oy:n keskipituusmittaustulokset	8
5.4	Korkeusmalliin perustuva puustotietojen tulkinta	16
5.4.1	Aineisto	18
5.4.2	Menetelmän kuvaus	18
5.4.3	Tulkinnan tulokset	19
5.5	Visuaalisen kuvatulkinnan aputyökaluja	19
6	Pohdintaa	20

1 Hankkeen taustaa

Puuenergian käytön lisäämisen korkeat tavoitteet vaativat toteutuakseen uusia puuenergian käyttökohteita ja tehokkaampaa polttoainehuoltoa lämpökeskuksille. Lämpökeskusten suunnittelussa tulee jatkossa huomioida entistä tarkemmin mahdolliset energiapuukohteet, jotka voidaan korjata ja kuljettaa käyttöpaikalle mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Pohjois-Suomen puuenergiakohteet ovat pääasiassa nuorta kasvatusmetsää tai varttuneita taimikoita, joiden puumäärissä tapahtuu lyhyessäkin ajassa suuria muutoksia. TEKES:n Puuenergiaohjelman johtajan Pentti Hakkilan mukaan puuenergian käytölle asetetut tavoitteet ovat niin suuret, että jossakin vaiheessa myös Etelä-Suomessa joudutaan selvittämään kasvatusmetsien puuenergiakohteiden korjuukelpoisuus ja korjattavat puumäärät.

Energiapuuta korjaavat ja hankkivat yritykset ovatkin tiedustelleet potentiaalisten energiapuukohteiden sijaintia ja mahdollisia puumääriä. Tällä hetkellä käytössä olevilla menetelmillä kohteiden selvittäminen vaatii kallista maastotyötä eikä olemassa olevilla resursseilla ole mahdollista vastata yritysten tarpeisiin.

Mm. Tomppo (1992) on kehittänyt kasvupaikkaluokitusmenetelmää metsien veroluokitusta varten ja todennut, että mikäli maastotarkastus jätettäisiin tekemättä, luokitustarkkuus olisi tilatasolla perinteisten menetelmien luokkaa ja kustannussäästöt jopa 60%. Kehittämistyössä on hyödynnetty sekä satelliitti- että vääräväri-ilmakuvia.

Numeerisen ilmakuvamateriaalin stereotulkinta mahdollistaa todennäköisesti metsikkökohteiden puustotietojen ja korjuukelpoisuuden selvittämisen riittävällä tarkkuudella ilman maastossa tehtäviä mittauksia. Tiheiden metsien tunnistamista ilmakuvilta on tutkittu vielä suhteellisen vähän ja kaupallista menetelmää ei ole markkinoilla. Olemassa oleva tutkimustieto perustuu pääasiassa satelliittikuvamateriaaliin ja suurten latvuksien koon perusteella mitattavissa olevien puiden mittaukseen.

Numeerinen ilmakuvamateriaali on paikallisesti satelliittikuvaa helpommin saatavilla edullisempänä ja muussa metsätalouden suunnittelussa käyttökelpoisena vaihtoehtona. Numeerista ilmakuvamateriaalia on hankittu metsätalouden neuvontaorganisaatioiden käyttöön suhteellisen

kattavasti mm. paikkatietojärjestelmiin perustuvien suunnittelumenetelmien ja -ohjelmistojen yleistyessä.

FM-kartta Oy on toimittanut Metsäkeskus Pohjois-Pohjanmaan toiminta-alueesta ilmakuvamateriaalin, joka on suureksi osaksi myös numeerisessa muodossa. Digitaalinen ilmakuva-aineisto tuettuna puuston stereokuvilta tapahtuvalla pituusmittauksella mahdollistaa energiapuukohteiden löytämisen ilman maastomittauksia.

Mikäli menetelmä on toimiva, voidaan jatkoprojektissa kehittää palvelu yhteistyössä energiapuuta hankkivien toimijoiden kanssa.

2 Esiselvityksen tavoitteet

Esiselvityshankkeen tavoitteena oli selvittää numeerisen ilmakuva-aineiston tulkintamenetelmien käyttökelpoisuutta energiapuukohteiden kartoittamisessa ja puumäärien arvioimisessa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää stereotyöaseman käyttökelpoisuus tulkinnan apuvälineenä sekä aseman perustamiseen liittyvät perustamiskustannukset ja ammattitaitovaatimukset.

Pääpaino tulkintamenetelmäselvityksessä ajateltiin keskittää visuaalisen kuvatulkinnan tarkasteluun. Visuaalista kuvatulkinnaa tehdään jo nykyisellään metsäkeskuksessa, kun metsäalueet ennakkokuvioidaan numeerisilta ilmakuvilta tapahtuvan visuaalisen kuvatulkinnan perusteella maastoinventoinnin pohjatiedoksi. Numeeristen menetelmien luotettava selvittäminen vaatisi huomattavasti suurempaa panostusta ja pitemmälle menevää tieteellistä tutkimusta. Ennakolta oli jo tiedossa, että numeeriset menetelmät ovat vasta tutkimus- ja kokeiluasteella ja tässä hankkeessa niihin paneuduttiin vain pintapuolisesti lähinnä kirjallisuusselvitykseen nojaten.

3 Hankkeen toteutus

Kootaan aiheesta olemassa oleva tutkimustieto hankkeen pohjaksi. Selvityksen teki pääasiassa Oulun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alanyksikön opiskelija Timo Kakko.

Olemassa olevan tutkimustiedon perusteella laadittiin hankkeen tarkempi toimenpidesuunnitelma. Toimenpidesuunnitelmaa tarkennettiin siten, että tulkintaa yritettiin tehdä rasteripohjaisilla kuvantulkintaohjelmilla (ErMapper, eCognition professional 4.0). Tyydyttäviin tuloksiin tulokseen ei näin kuitenkaan päästy.

Visuaalisten tulkintojen ja korkeusmittausten testialueeksi valittiin paljon potentiaaliasia energiapuukohteita sisältävä Olkijoen aluesuunnitelma-alue Raahesta. Alueelta pyritään lähivuosina keräämään energiapuuta. Koealueella oli käytössä osittain tuoreet metsäsuunnitelmatiedot, jolloin vertailumittauksissa säästettiin kustannuksia.

Tämän jälkeen testattiin kolme menetelmää:

- Pelkkä visuaalinen tulkinta
- Visuaalinen tulkinta + yksittäisten puiden pituudet valituilta kuvioilta
- Kattavan puuston korkeusmallin ajo ja kattavien puustotietojen tulkinta

Lisäksi selvitettiin stereotyöaseman perustamismahdollisuudet metsäorganisaatiossa (kustannukset, ammattitaitovaatimukset, tulkintakustannusarvio omana työnä, materiaalin hinta). Paikkatietomarkkinoilla syksyllä 2004 tutustuttiin alustavasti EspaSystems:n kehittämään järjestelmään, jossa pituusmittauksia pystyttiin tekemään puoliautomaattisesti. Puoliautomaattinen järjestelmä päätettiin testata myös pienellä maastoaineistolla. Stereotyöasemaan liittyvät selvitykset ovat liitteessä 2.

Esiselvityksen teki Metsäkeskus Pohjois-Pohjanmaa, Ostopalveluja hankittiin FM-kartalta ja Oulun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksiköstä. Lisäksi tehtiin vierailu Espa Systems Oy:hyn. Toimittaja esitteli laitteistoa ilman korvausvaatimusta. Hankkeen kustannusarviosta toteutui 91 %.

4 Kirjallisuuskatsauksen tiivistelmä

Numeerisen ilmakehän tulkintamenetelmistä tehtiin kirjallisuusselvitys hankkeen alussa, jotta mahdollinen olemassa oleva tieto saataisiin käyttöön hankkeen pohjaksi ja ohjaamaan tulevaa varsinaista selvittelytyötä. Kirjallisuusselvityksen laati Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön opiskelija Timo Kakko erikoisharjoittelutyönään. Vaikkakin erilaisen kaukokartoitusmateriaalien, kuten satelliitti- ja ilmakehän, hyödyntämistä metsätalouden käytössä onkin tutkittu jo varsin laajalti, ei kirjallisuusselvityksessä noussut esiin mitään tiettyä toimintalinjaa, jonka avulla energiapuukohteiden kartoittaminen voisi tapahtua.

Valtaosa tutkimuksista koski pääosin satelliittikuvia ja niiden hyödyntämismahdollisuuksia metsätaloudessa. Satelliittikuvat ovat ominaisuuksiltaan sen verran paljon ilmakehän poikkeavia että

samoilla ongelmanratkaisutavoilla ei voida sekä satelliitti- että ilmakuvia hyödyntää metsätalouden käytössä. Tutkimustietoa visuaalisesta kuvantulkinnasta oli saatavilla huomattavasti vähemmän. Yleensä visuaalinen tulkinta oli käytössä yhdessä jonkin numeerisen tulkintamenetelmän kanssa, ohessa tai lisänä. Tutkimusten mukaan visuaalisen kuvantulkinnan onnistuminen vaati tulkitsijalta harjaantumista ja käytännön kokemusta. Siitä huolimatta menetelmä oli altis subjektiivisuudelle ja tulkitsijan vireystilan muutoksille. Numeerinen tulkinta oli tulkitsijasta riippumatonta mutta tulkintaohjelmistot eivät pystyneet silti huomioimaan riittävän hyvin metsän heterogeenistä rakennetta ja tulokset, mitä numeerisilla tulkintamenetelmillä oli eri tutkimuksissa saatu, eivät olleet riittävän hyviä vielä käytännön työhön sovellettaviksi sellaisenaan.

Kirjallisuusselvitys vahvisti näkemystä siitä, että tietämys numeerisen kuvantulkinnan sovellettavuudesta metsätalouden käyttöön metsien inventoinnin ja puuvarojen arvioinnin näkökulmasta, ei ole vielä riittävä. Tavoitteeksi otettiin rakentaa tulkintakonsepti visuaaliseen kuvantulkintaan pohjautuen.

Kirjallisuuskatsaus on loppuraportin liitteenä (LIITE 1).

5 Tulkintamenetelmät

5.1 Koealueen ja aineiston kuvaus

Koealue sijaitsee Raahen kunnassa Olkijoen alueella meren rannikolla 0-6 km etäisyydellä rantaviivasta. Alue on Pohjanmaan maannousemarannikko. Maapohja on nuorta, ravinteisuus pääosin tuoretta tai kuivahkoa kangasta tai vastaavaa suota. Korkeudeltaan alue on lähes merenpinnan tasolla kauttaaltaan ja korkeusvaihtelu on hyvin vähäistä. Alueen metsät ovat pääosin lehtipuuta, hieskoivun ollessa pääpuulaji. Hieskoivikoiden kasvukunto on enimmäkseen heikko, puuston ollessa monin paikoin hoitamatonta ja yli-ikäistä. Alueelta löytyy jonkun verran männiköitä mutta kuusi esiintyy lähinnä sekapuuna eikä muodosta selkeitä kuusimetsiä

Koealueella oli kesken alueellisen metsäsuunnittelun maastotyövaihe. Osalle kuvioista oli jo olemassa kuviotietoja, osalle kuvioista kuviotiedot kerättiin hankkeen ollessa käynnissä. Normaalin metsäsuunnitteluaineiston lisäksi alueelta kerättiin noin sadalta kuviolta tarkempia puuston keskipituustietoja. Näitä tuloksia käytettiin verrattaessa FM_Kartta Oy:ltä tilattujen keskipituustietojen paikkaansa pitävyyttä. Sen lisäksi noin kahdeltakymmeneltä kuviolta mitattiin puuston maksimipituuksia, joita verrattiin niin ikään FM-Kartta Oy:n toimittamiin puuston maksimipituustietoihin.

5.2 Visuaalisen kuviotulkinnan tulokset

Koealue ennakkokuvioitiin digitaalisilta ilmakuvilta manuaalisesti. Tämä tapahtui digitoimalla kuviorajat suoraan LuotsiGIS -paikkatieto-ohjelmistoon. Sen jälkeen kuviot käytiin yksitellen läpi ja jaettiin ne visuaalisesti kuvaruudulta tarkastellen kolmeen luokkaan: 1) energiapuukuvio, 2) mahdollinen energiapuukuvio ja 3) ei-energiapuukuvio. Seuraavassa kuvioiden jakaantuminen eri luokkiin.

Taulukko 1. Testialueen kuvioiden luokittelu visuaalisesti ilmakuvilta tulkittuna

Luokitus	Kpl	%
Energiapuu	35	10,3
Mahdollinen	120	35,3
Ei-energiapuu	185	54,4
Luokiteltuja yht	340	100

Reilu puolet kuvioista luokiteltiin energiapuukuvioiksi kelpaamattomiksi. Vain 10 % kuvioista luokiteltiin varmuudella energiapuuta sisältäviksi kuvioiksi. Peräti 35 % kuvioista tulkittiin ”varman päälle” mahdollisiksi energiapuukuvioiksi. Päätämättömyys näin suurella osalla kuvioita johtui siitä, ettei puuston kehitysluokkaa pystytty riittävän luotettavasti arvioimaan pelkän ilmakuvatiedon perusteella. Nuoret kasvatusmetsät sekoittuivat varttuneisiin kasvatusmetsiin ja varttuneet kasvatusmetsät sekoittuivat uudistuskypsiin metsiin.

Energiapuukuvioiksi luokitelluista kuvioista peräti 28 % luokiteltiin virheellisesti (Taulukko 2). Valtaosa väärin luokitelluista kuvioista oli taimikoita (70 %), jotka olisi voitu luokitella oikein, mikäli kuvion keskipituustieto olisi ollut käytettävissä. Tällöin luokitteluvirhe olisi saatu pudotettua 28 prosentista 9 prosenttiin varmojen energiapuukuvioiden osalta. Energiapuukuvioita luokiteltiin virheellisesti ei-energiapuukuvioiksi 10 %. Mitään yksittäistä virhetekijää ei voitu yksilöidä. Tiheyden aliarvioiminen ja puuston pituuden ja sitä kautta järeyden yliarvioiminen olivat tyypillisiä virheitä. Keskipituustiedon avulla pituuden ja järeyden yliarvioita olisi saatu karsituksi. Mahdollisista energiapuukuvioista varsinaisiksi energiapuukuvioiksi osoittautui kolmannes. Jos näille kuvioille olisi ollut keskipituus tiedossa jo luokitteluvaiheessa, olisi noin puolet 120 mahdolliseksi luokitellusta kuvioista pystytty luokittamaan joko energiapuu- tai ei-energiapuukuvioiksi. Tämän jälkeen kuvioiden kokonaismäärästä (340 kpl) olisi jäänyt epäselviksi tapauksiksi noin 17 %.

Taulukko 2. Luokitusten jakauma luokkien sisällä. Kyllä-sarakkeessa kuviot, jotka olivat energiapuukuviota, ei-sarakkeessa kuviot, jotka eivät olleet energiapuukuviota.

Luokitus	Kyllä	%	Ei	%	Yht
Energiapuu	25	71,4	10	28,6	35
Mahdollinen	43	35,8	77	64,2	120
Ei-energiapuu	20	10,8	165	89,2	185

Tässä kohdin on syytä korostaa sitä, että ilmakuvulta tapahtuvan tulkinnan onnistumisen kannalta on merkittävin asia tulkitsijan kokemus ja harjaantuminen tulkintatyössään. Kokenut tulkitsija olisi todennäköisesti päässyt luokittelussaan parempiin tuloksiin, kuin mitä tässä hankkeessa tältä osin päästiin. Ilman ennakkotietämystä alueen metsien laadusta ja luonteesta kuvioiden kokonaispuumäärää ja energiapuumäärää oli mahdotonta arvioida. Testimielessä tehty muutaman kuvion puustotietojen arviointi perustuen pelkkään ilmakuvatarkasteluun johti helposti tilavuuden arvioissa 100 % heittoihin. Oli selvää, että jotain mittatietoa puustosta on oltava käytössä, mikäli ilmakuvilta tarkastelemalla puuston määrää ja laatua pyritään arvioimaan.

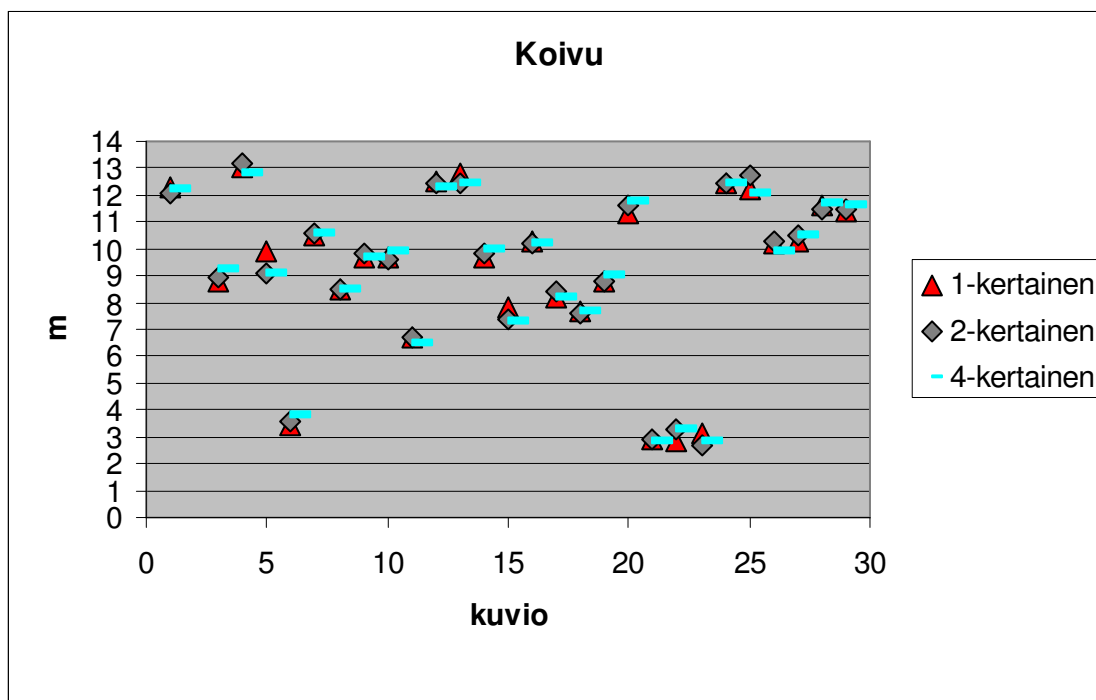
5.3 FM-Kartta Oy:n keskipituusmittaustulokset

Hankkeen yhtenä osana oli selvittää, parantaisiko puuston keskipituuden tietäminen ilmakuvulta tapahtuvaa visuaalista energiapuukohteiden tunnistamista. Keskipituustiedon koealueille toimitti FM-Kartta Oy. Mittaukset tehtiin digitaalisella stereotyöasemalla digitaalisilta stereoilmakuvapareilta fotogrammetrisin mittausten menetelmin. Puun pituus mitattiin laskemalla kahden pisteen välinen erotus. Nämä kaksi pistettä olivat maanpinnan piste, jolta puun oletettiin alkavan kasvunsa, sekä puun latvapiste. Latvapisteestä vähentämällä maanpinnan pisteen mittaluku saatiin kyseisen puun pituusarvio.

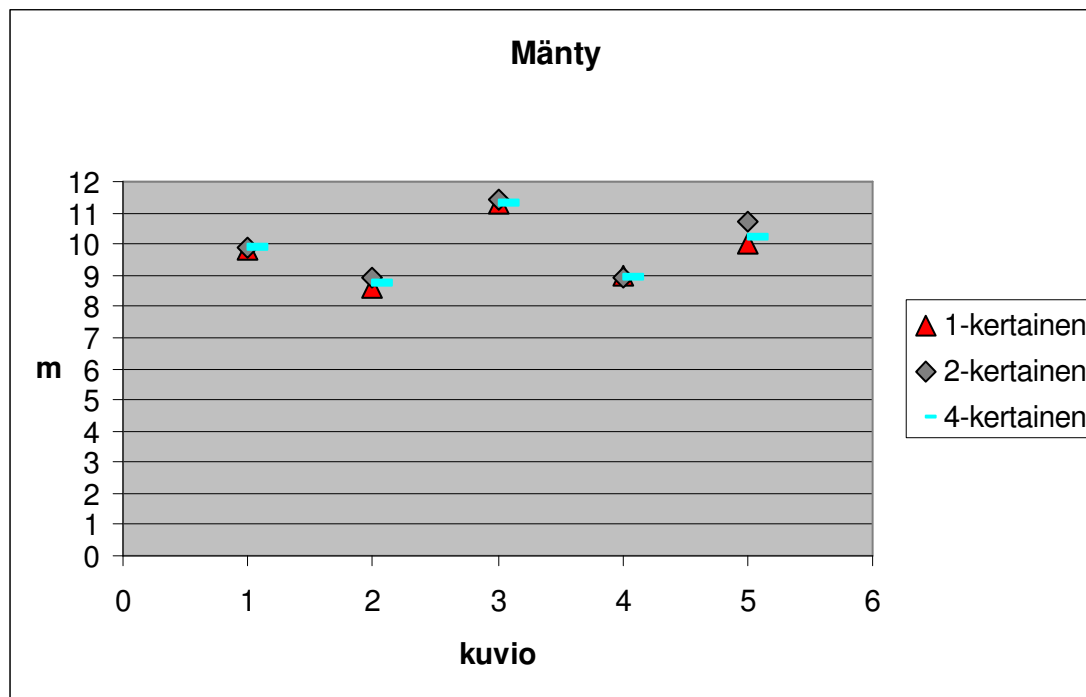
Käytännön mittaustyö tehtiin siten, että orientoiduilta stereoilmakuvapareilta muodostettiin ensiksi maanpinnan malli. Malli oli muodostettava siksi, että ilmakuvilta on erittäin vaikea erottaa puiden tyviä, koska useimmiten latvusten väliin jäävät alueet ovat varjostuneita, eikä maan pintaa tai puun tyveä voi näistä latvuston aukoistakaan luotettavasti nähdä. Tämän jälkeen mittaaja aloitti manuaalisesti mittaamaan mittapisteitä olettamiinsa puun latvoihin erityistä 3D-hiirtä apunaan käyttäen. Mittapistettä asettaessa mittaaja merkkasi samalla puulajikoodin kyseiselle mittapistelle, jotta eri puulajit pystyttäisiin erottelemaan myöhemmin laskentavaiheessa. Mittaustyössä puulajit sovittiin eroteltaviksi kolmeen ryhmään: mänty, kuusi ja lehtipuut.

Mittapisteiden kuviokohtainen määrä jäi mittaajan päätettäväksi, koska mitään varsinaista ennakkotietämystä siitä, että kuinka monta latvusta tulisi mitata, ei ollut. Tärkeämpää kuin pisteiden määrä oli pisteiden sijoittelu mahdollisimman edustavasti kuviolle. Käytännössä mittapisteitä tuli kuviolle kuvion pinta-alasta ja puulajisuhteista riippuen 2-10 kappaletta puulajia kohti. Mittapisteiden määrän vaikutusta keskipituuden mittauksen luotettavuuteen testattiin mittaamalla samoilta kuviolta tulokset sekä kaksinkertaisella että nelinkertaisella mittapistemäärällä.

Kuvista 1 ja 2 voidaan havaita, että mittapisteiden määrän kasvattaminen kaksin- tai nelinkertaiseksi ei vaikuttanut lopulliseen keskipituustietoon kuin marginaalisesti. Tyypillisin ero oli luokkaa 0-20 cm ja suurimmillaankin vain noin 50 cm. Sen sijaan työajanmenekki kasvaa huomattavasti, mikäli mittapistemäärää lisätään eikä sillä ole saavutettavissa hyötyä käytännössä ollenkaan. Voitiin todeta, että ”yksinkertainen” mittapistetiheys oli riittävä mittauksen kannalta.



Kuva 1. Koivun mittapistetiheyden vaikutus keskipituusarvioon



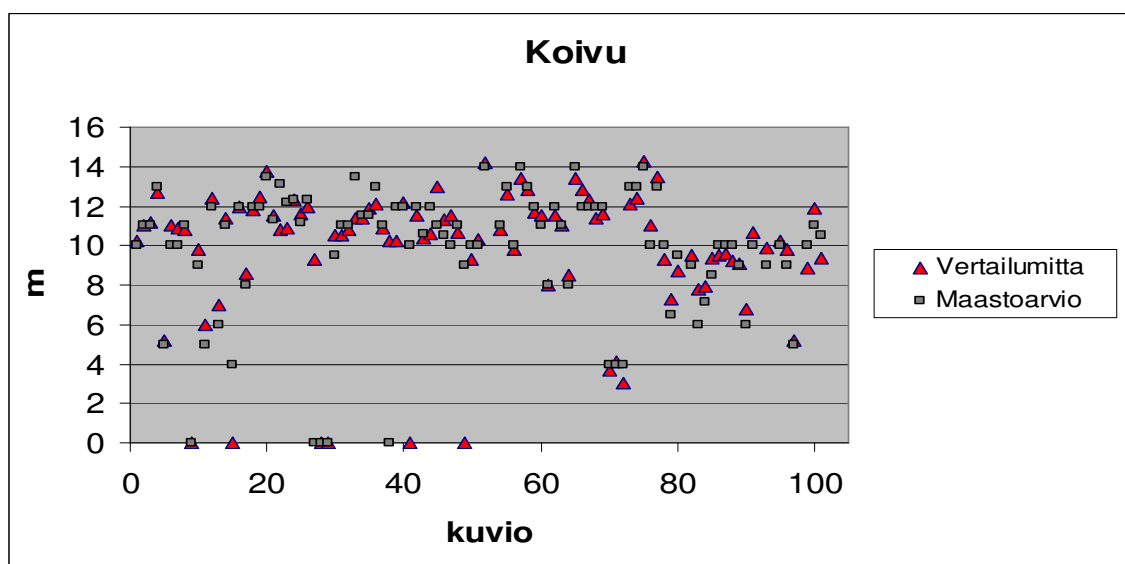
Kuva 2. Männyin mittapistetiheyden vaikutus keskipituusarvioon

Koko mittauksen onnistumisen kannalta aivan keskeinen seikka tällaisessa mittaustavassa on mittaajan subjektiivinen näkemys mittapuuksi valittavasta latvuksesta sekä mittapisteen sijoittamisen onnistuminen stereokuvalle, toisin sanoen kuinka tarkasti kuvalta erottuvaan puun latvaan mittapiste onnistutaan asettamaan. Koska koivuilla ja männyillä latvus on tylppärakenteisempi kuin kuusella, jolla se on suipomman mallinen, oli oletuksena se, että varsinkin koivun mutta myös männyin osalta mittapisteen asettaminen lähimain oikeaan kohtaan olisi jossain määrin helpompaa kuin kuusen tapauksessa.

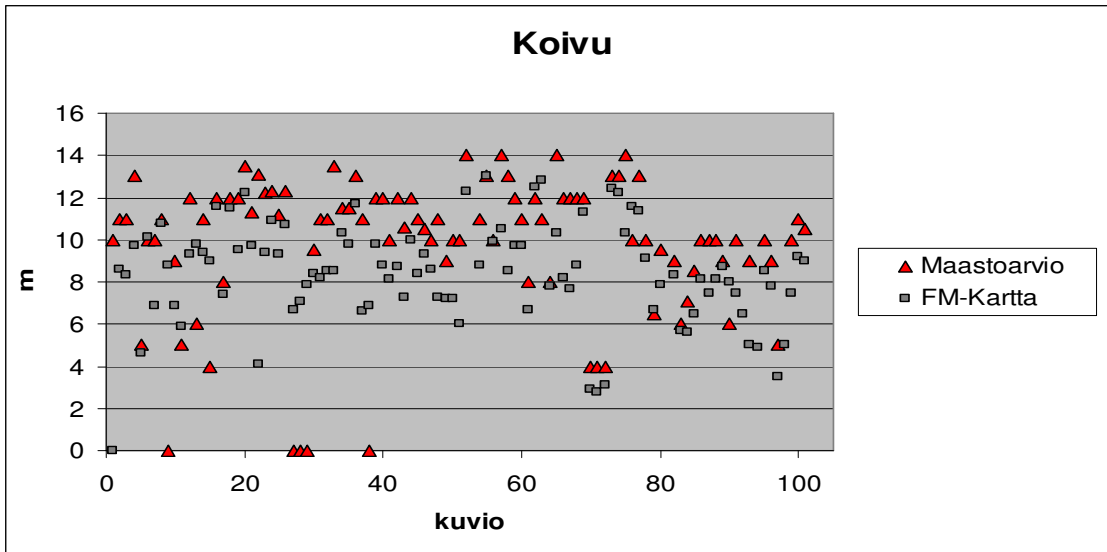
Mittaajana toiminut henkilö oli tehnyt puustomittauksia pienimuotoisesti koemielessä jo aiemmin mutta hän ei ollut varsinaisesti vielä kokenut ja harjaantunut puiden mittauksessa. Myöskään metsällistä koulutusta hänellä ei ollut eikä siten selkeää käsitystä siitä, mitä kuviokohtaisella puulajittaisella keskipituudella tarkoitetaan metsätaloudessa. Sen sijaan mittaajan esimiehellä oli myös metsällinen koulutustausta ja hän pystyi antamaan tukea ja neuvoja mittaajalle mittausprosessin aikana koskien mittapuiden valintaa.

Saadut mittaustulokset eivät olleet kaikilta osin tyydyttäviä. Osalla kuvioista FM-Kartan toimittamat keskipituusmitat olivat jokseenkin linjassa maastossa mitattujen sekä tarkempien mittaustulosten että metsäsuunnittelijan arvioiman keskipituusmitan kanssa. Mutta jopa vierekkäisellä kuviolla saattoi FM-Kartan mittaustulos poiketa useamman metrin ja poikkeuksetta alaspäin. Sama ilmiö oli havaittavissa kaikilla kolmella puulajilla. FM-Kartan mittatuloista kävi myös ilmi, että mikäli kuviolla oli vain vähän jotain puulajia (<10-15%), niin kyseinen puulaji jäi usein kokonaan pois pituusmittauksesta. Niin ikään osalla kuvioita mänty oli luokiteltu kuuseksi ja kuusi mänyksi.

Seuraavissa kuvissa esiintyvä vertailumitta on maastossa mitattu normaalia mittaustapaa tarkemmin suoritettu mitta. Jokaiselta kuviolta on mitattu puulajeittain kuvion koosta riippuen 4-12 runkoa hypsometriä apuna käyttäen. Puiden valinta on suoritettu subjektiivisesti ja siitä johtuen vertailumittaa ei voida pitää absoluuttisen totuudenmukaisena jokaisella kuviolla. Se antaa kuitenkin paremmat lähtökohdat arvioida todellista keskipituutta kuin tavanomaisen metsäsuunnittelukäytännön mukaisesti tehty keskipituusarvio, jossa puita mitataan huomattavasti vähemmän yhdeltä kuviolta.



Kuva 3. Tarkemman vertailumitan ja metsäsuunnittelijan arvioiman keskipituuden vaihtelu koivulla

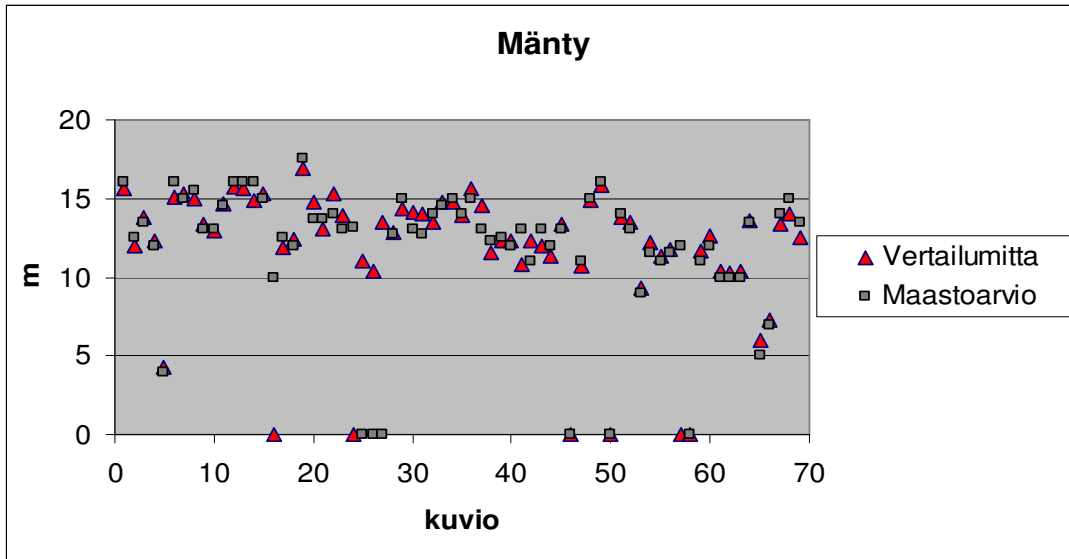


Kuva 4. Tarkemman vertailumitan ja FM-Kartan mitaaman keskipituuden vaihtelu koivulla

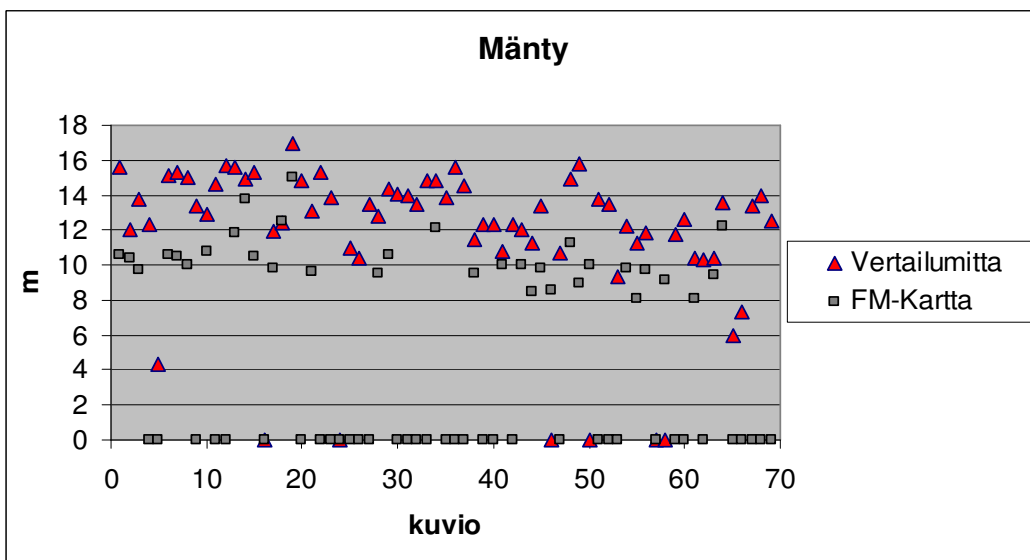
Kuvasta 3 huomataan, että vertailumitan ja maastoarvion välinen vastaavuus on melkoisen hyvä. Yleisesti ottaen, mittalukemat ovat 1 metrin sisällä suurimmassa osassa tapauksista. Vain muutamilla kuvioilla heitto on luokkaa 1,5-2 metriä.

Kuvasta 4 käy ilmi jo edellä todettu ongelma. Trendinomaisesti FM-Kartan mittalukemat ovat alemmalla tasolla verrattuna vertailumittaan. Ero on pahimmillaan luokkaa 3-4 metriä! Tämä ilmiö havaittiin jo ensimmäisissä koemittauksissa ja asiasta keskusteltiin FM-Kartan edustajien kanssa. Tämän jälkeen alueelle päätettiin muodostaa uusi maanpinnan malli ja mittausta jatkettiin sen pohjalta. Tästä ei ollut kuitenkaan apua. Aliarvio on edelleen selkeä, vaikka osalla kuvioista mittaluvut ovat ihan kohdallaan.

Seuraavissa kuvissa vastaavat yhteenvedot männyn osalta.



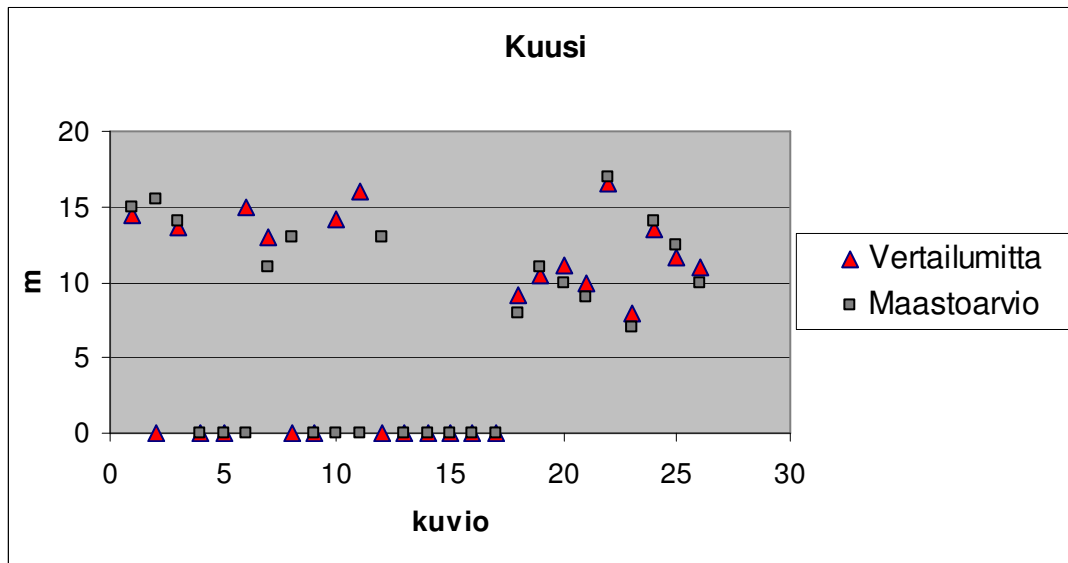
Kuva 5. Tarkemman vertailumitan ja metsäsuunnittelijan arvioiman keskipituuden vaihtelu männällä



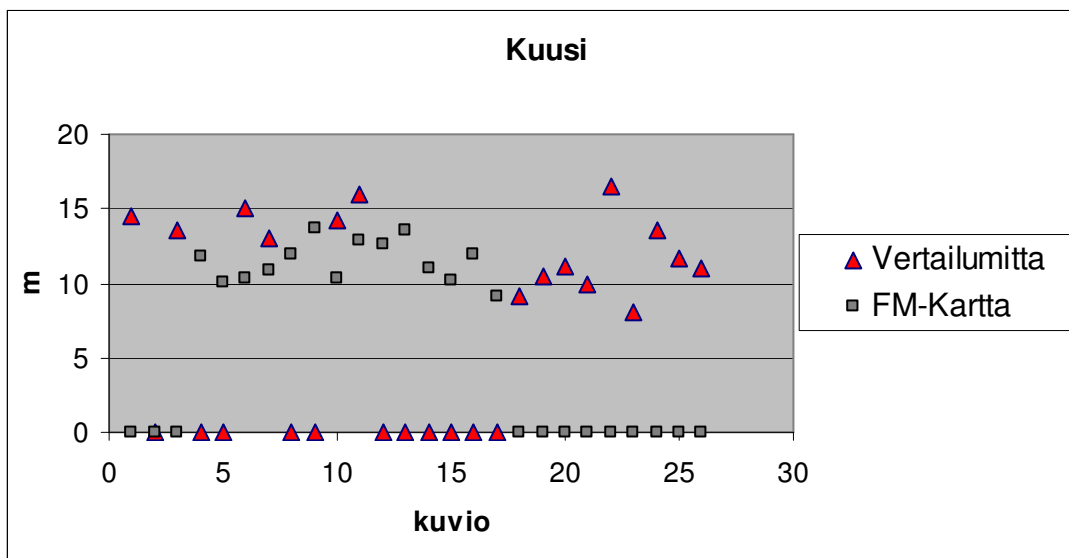
Kuva 6. Tarkemman vertailumitan ja FM-Kartan mittaaman keskipituuden vaihtelu männällä.

Kuvasta 6 käy hyvin ilmi se, että FM-kartan mittatulosten kohdalla on runsaasti nollamittapisteitä. Tämä tarkoittaa siis sitä, että FM-Kartan mittauksissa mäntyä ei ole havaittu kuvioilta, vaikka sitä on siellä ollut 5-10 % osuus minimissään. Niin ikään vertailumitta on kautta linjan selvästi korkeammalla, joten sama ilmiö, mikä todettiin jo koivulla, toistuu myös männen osalta.

Seuraavissa kuvissa vastaavat yhteenvedot kuusen osalta.



Kuva 7. Tarkemman vertailumitan ja metsäsuunnittelijan arvioiman keskipituuden vaihtelu kuusella



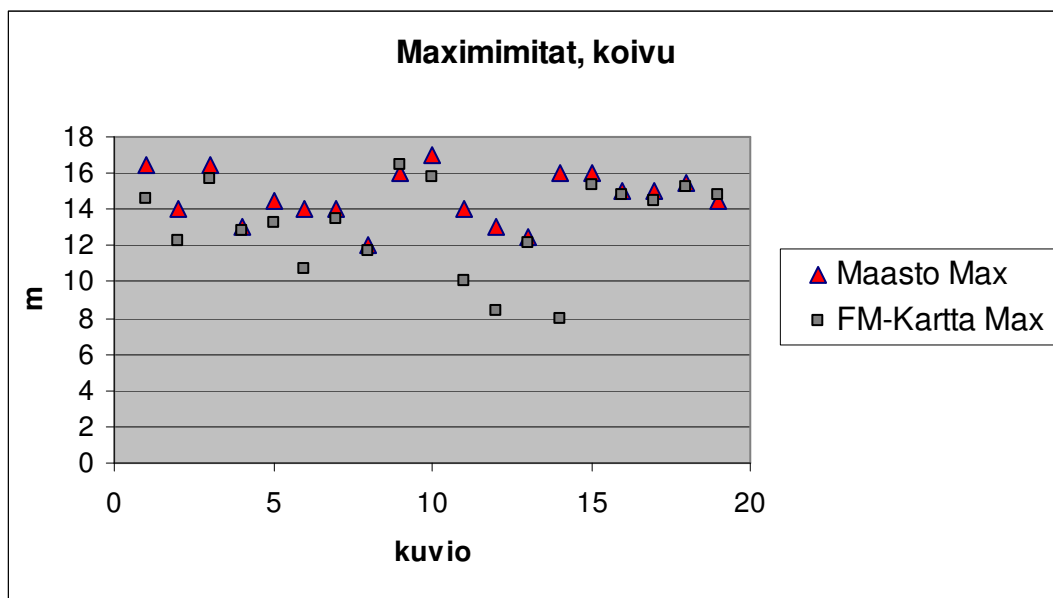
Kuva 8. Tarkemman vertailumitan ja FM-Kartan mittaaman keskipituuden vaihtelu kuusella

Kuvassa 8 näkyy mielenkiintoinen ilmiö. Osalla kuvioista FM-Kartan mittatuloksia vastaavaa mittatulosta ei löydykään maastomittauksen osalta. Osalla kuvioista puolestaan maastomittauksia vastaavaa mittatulosta ei löydy FM-kartan osalta. Puulaji on mitattaessa luokiteltu joko virheellisesti tai inhimillisen erehdyksen seurauksena tahattomasti väärin. Asiaa tiedusteltaessa kävi ilmi, että

mäntyä ja kuusta ei oltu kyetty varmuudella erottamaan toisistaan kaikissa tapauksissa. Ilmakuvien mittakaava 1:30 000 oli niin pieni ja kuvan laatu ei ollut tarpeeksi hyvä kyseisten kuvien kohdalla, jotta puulajit olisit pystytyt varmuudella erottelemaan toisistaan mittaustilanteessa.

Kun tuloksia tarkastellessa huomattiin, että FM-Kartan mittaukset vaikuttivat olevan alakanttiin, pyydettiin heitä suorittamaan valtapuuston maksimipituusmittauksia osalle testikuvioista. Näin haluttiin saada kuva siitä, liikkuvatko maastossa mitatut puiden maksimipituudet samalla tasolla FM-Kartan mittausten kanssa. Mikäli tasossa olisi selvä ero, voitaisiin siitä päätellä, että koko mittausprosessissa on joku perustavaa laatua oleva virhe, joka aiheuttaa mittojen eroavaisuuden.

Seuraavassa maksimimitausten tulos koivun osalta.



Kuva 9. Koivun maksimimita maastossa mitatun ja FM-Kartassa stereokuvilta mitatun pituuden välillä.

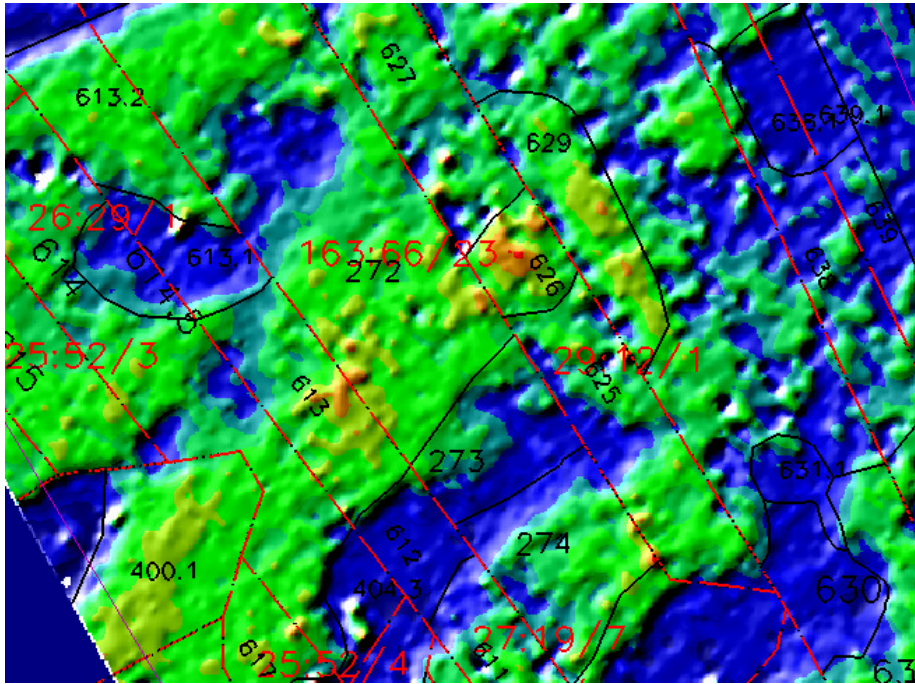
Maksimimitat ovat melko lähellä toisiaan suurimmassa osassa tapauksista. Joukosta löytyy 4 kuviota, joilla maksimimita heittää 3-8 metriä! Näille eroavaisuuksille ei löytynyt mitään selkeää selitystä muuta kuin mittaajan suorittama virhe. Yleisesti ottaen voidaan silti sanoa, että mitattaessa maksimipituutta sekä maastossa mitattu että FM-Kartan toimittama mittalukema vastasivat riittävän hyvin toisiaan. Se jättääkin kysymyksen siitä, miksi keskipituusmittauksissa oli selkeä tasoero kokonaisuutta tarkasteltaessa.

Selitys tälle löytynee mittapuiden valinnasta. Mittaaja joko ei ole sisäistänyt pohjapinta-alalla painotetun keskimääräisen puun pituuden käsitettä tai sitten sen mittaaminen stereokuvilta on ollut vaikeaa. Mittaukseen valituksi on tullut ennemminkin pituudeltaan keskiarvopuu eikä suinkaan pohjapinta-alalla painotettu. Mikäli jatkossa aiotaan ostaa keskipituustietoa ulkopuoliselta toimittajalta, tulee mittausprosessi käydä hyvin tarkkaan läpi, jotta tulokset olisivat luotettavia kautta linjan. Voidaan myös sanoa, että mittaajan kokemus työssään vaikuttaa subjektiivisissa mittausvalinnoissa aina jonkun verran ja joskus jopa merkittävästi lopputulokseen. Tässä hankkeessa FM-Kartan toimittamat puuston keskipituusmittaustulokset eivät olleet riittävän luotettavia. Niitä ei voitu käyttää alkuperäiseen tarkoitukseensa, joka oli jaotella keskipituustiedon pohjalta visuaalisesti tulkitut kuviot energiapuun- ja ei-energiapuukuvioihin.

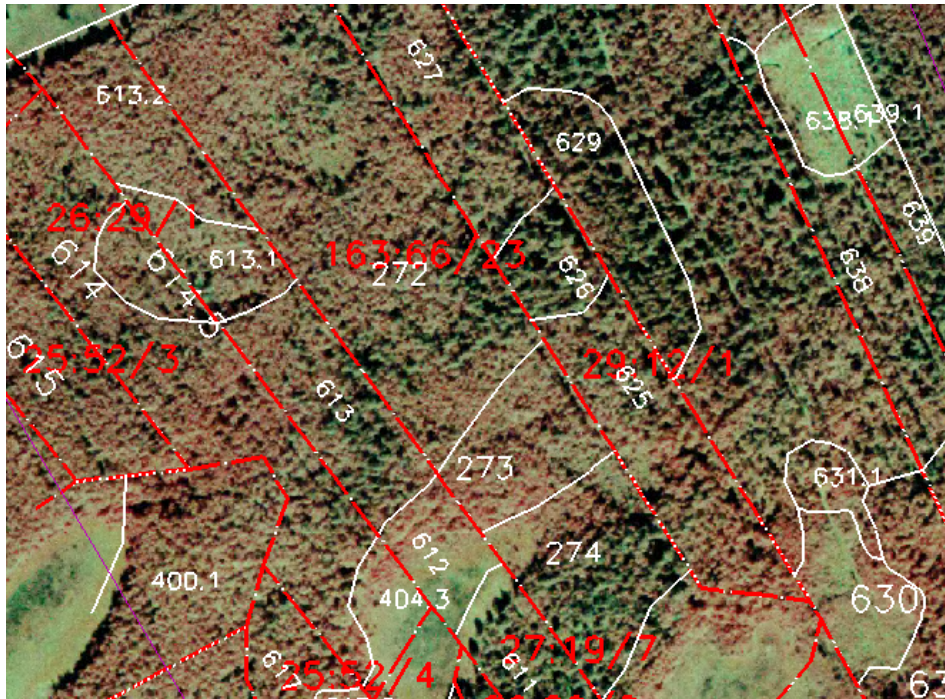
5.4 Korkeusmalliin perustuva puustotietojen tulkinta

Korkeusmalliin perustuva tulkintatestaus toteutettiin tekemällä korkeusmalli puun latvuksista Espo Systems:n puoliautomaattisella tulkintatyökalulla. Maanpintaa ei mallitettu, koska sen havaittiin olevan alle 1 metrin korkeudella meren pinnasta. Järjestelmässä ei ollut valmiina työkalua, jolla maan pinnan ja latvusten erotus olisi voitu laskea.

Ennen korkeusmallin laadintaa haettiin ilmakuvan koepuiden perusteella sopivat estimaatit korkeuden hakemiseksi. Ohjelmalla voitiin etsiä eri kokoisia piirteitä eri pistetiheyksillä. Asetukset tulee etsiä kuvauskohtaisesti sopiviksi. Kun ohjelma oli tuottanut kolmiulotteisen pistejoukon, poistettiin siitä selkeät virrehavainnot ja pistejoukosta muodostettiin rasterikuva, jossa korkeudet teemoitettiin eri värein (kuva 14). Pituuden ja kuvion tasaisuuden perusteella pääteltiin puuston tiheys. Vääräväriväristä pääteltiin puulajisuudet ja mahdolliset puulajikohtaiset pituuserot.



Kuva 10. Espan työaseman avulla luotu puuston korkeusmalli. Vaalean vihreä väritys kuvaa pituusluokkaa 10 –11 m. Punaisemmat luokat ovat tätä luokkaa suurempia ja siniset pienempiä. Luokitus on tehty metrin välein. Kuvaan on tehty myös kolmiulotteisuusvaikutelmaa lisäävä varjostus.



Kuva 11. Väärävärικuva samalta alueelta. Osa kuviorajoista ei erotu tässä ilmakuvassa, mutta erottuu selkeästi korkeusmallissa. Korkeusmallin ja kuviorajojen paikkansapitävyys todettiin maastossa myös GPS:n avulla.

5.4.1 Aineisto

Koetulkinta-alueen puustotietojen vaihteluvälit ja mediaaniarvot olivat seuraava:

- keskipituus 7 – 17 (11) m
- pohjapinta-ala 4 – 27 m²/ha, (13) m²/ha
- ikä 40 – 75 (60) vuotta
- koivun osuus 10 – 100 (60) %
- männyn osuus 0 – 90 (38) %
- kuusen osuus 0-10 (2) %
- koivun keskiläpimitta 7 – 13 (11) cm ja –pituus 7 – 13 (11) m
- männyn keskiläpimitta 12 – 27 (23) cm ja –pituus 10 – 17 (14) m
- kuusen keskiläpimitta 16 (16) cm ja pituus 12 (12) m

5.4.2 Menetelmän kuvaus

Puuston tunnukset pääteltiin esimerkkitapauksessa pituustiedon avulla seuraavasti:

Rasterikuvan teeman avulla pääteltiin **eri puulajien keskipituus** seuraavasti:

- Männyllä keskipituus saadaan lisäämällä rasterikuvan teemaan 1-1,5 metriä
- Kuusella lisätään 2 metriä
- Koivulla lisäystä ei tarvita

Pituuteen lisäämistarve todettiin mitattujen ja paikannettujen koepuiden avulla. Lisäystarve on looginen latvuksen muodon suhteen. Stereokuvan pikselikoko oli 0,5 metriä ja automaattisen korkeusmittauksen avulla etsittiin piirteitä, joiden koko oli noin 2,25 m² (3X3 pikseliä).

Keskipituudesta pääteltiin edelleen **metsikön kokonaispohjapinta-ala** seuraavan säännönmukaisuuden perusteella. 10 – 17 metrin valtapituusvaiheessa metsikön optimaalisessa kasvatusasennossa pohjapinta-alan ja valtapituuden lukuarvot vastaavat toisiaan. Harvennusraja (latvuspeittävyys lähes 100 %) on 1,5 -kertainen optimaaliseen kasvatusasentoon verrattuna. Puuston pohjapinta-ala pääteltiin kuvion puustoisten osien perusteella ja pohjapinta-alasta vähennettiin edelleen tulkinnessa näkyvä aukkoisuus.

Puusto-ositteiden läpimitta päätellään visuaalisen tiheysvaikutelman ja/tai tulkinta-alueen tuntemisen avulla. Läpimitta valitaan siten että runkoluku on ilmakuvalta saatavissa olevan tiheysvaikutelman mukainen.

Puuston ikää ei voida varmuudella päätellä mitenkään ilmakuvaista. Alueen metsien tunteminen mahdollistaa myös tämän tunnuksen melko luotettavan arvioimisen. Kuitenkin esimerkiksi uudistuskypsyden rajamailla olevan metsikön kehitysluokka jää arvailun varaan.

5.4.3 Tulkinnan tulokset

Koko kuvioaineistossa saatiin tulkinnan tuloksena puuston määräksi 980 m³ ja kuvioittaisella arvioinnilla 1070 m³. Oikein tulkituiksi katsottiin kuviot, joissa puulajisuudet olivat likimääräisesti samat (suhteellinen virhe alle 30 %) ja kokonaispuuston virhe oli alle 20 %. Kokonaiskuviomäärästä (12) täytti em. ehdot 10 kuviota. Suurimmat virheet tulivat huomattavan ylitheässä metsikössä ja metsikössä jossa kuvion puulajisuhteita ei voinut päätellä ilmakuvaan värisävystä. Myöskään aliskasvoksen olemassaoloa ei voitu päätellä ainakaan käytettävissä olevien ilmakuvioiden avulla.

Stereotyöaseman avulla tuotetun puuston korkeusmallin avulla voitiin parannella kuviointi niin tarkaksi, ettei siihen tarvinnut tehdä maastossa muutoksia. Kuvioittainen arviointi tehtiin näille korkeusmallin avulla tarkennetuille kuvioille.

5.5 Visuaalisen kuvatulkinnan aputyökaluja

Luotettavaa tulkintamenetelmää hahmoteltaessa käytiin läpi joukko kuvatulkinnan aputyökaluja. Tulkinta-avaimella tarkoitetaan tietoa siitä, miltä erilaiset kohteet näyttävät ilmakuvalta. Tieto voi olla yleinen kaikkialla voimassaoleva tai aineistokohtaisesti muodostettu tietylle alueelle. Tulkinta-avain koostuu tekstimuotoisesta kuvauksesta, kuvasarjasta erityyppisiä metsiköitä sekä kuvausajankohdan aikaiset mittauksiedot kuvasarjalta paikannettavissa olevista metsiköistä. Tulkinta-avain ei sinällään ole kovin jouheva tapa lähestyä puustotulkintaa. Ilmakuvat eivät ole tasalaatuisia ja samanlainen kohde voi olla hyvin eri näköinen eri ilmakuville sekä saman ilmakuvaan eri osissa. Tulkinta-avain ajatusta voisi kuitenkin soveltaa tässä hankkeessa kehiteltävään menetelmään siten, että alueella käytäisiin tutustumassa sen metsiin ja ominaispiirteisiin ja tehtäisiin päivä tai kaksi normaalia metsäsuunnittelun maastoinventointia. Inventointitiedosta saataisiin ”tulkinta-avain” alueen metsiin, kun kerätyt kuviotiedot yhdistettäisiin vastaaviin kuvioihin ilmakuvalta. Näitä kuvioita ja puustotietoja

tarkastelemalla, tulkitaja voisi "kalibroida" silmänsä juuri sen alueen metsiin ennen varsinaisen tulkintatyön aloittamista.

Toinen mielenkiintoinen aputyökalu puuston inventointiin on puoliautomaattinen latvusten segmentointi erityisen segmentointiohjelman avulla. Tietokoneohjelma rajaa puiden latvukset puoliautomaattisesti, minkä jälkeen se laskee puustotunnukset malliketjulla. Testikäytössä runkoluvun, pohjapinta-alan ja tilavuuden estimaatit olivat reiluja aliarvioita. Energiapuukohteiden tulkinnan kannalta ohjelman heikkous piilee siinä, kuinka hyvin se pystyisi erottamaan latvukset pieniläpimittaisen ja latvustoltaan umpinaisen metsän tapauksessa. Ilmakuvalla tällainen metsikkö on sävyarvoiltaan tasaista massaa, koska siitä puuttuvat latvusten aukkokohtien aiheuttamat tummat varjostukset. Sävyarvojen vaihteluun perustuva hakualgoritmi joutuu tällöin todella haastavan työn eteen (Anttila ja Lehikoinen 2002). Tämän asian totesi myös segmentointiohjelmaa edustavan Arbonaut Oy:n edustaja, kun esittelin hänelle energiapuukohteiden kaukokartoitus –esiselvitys hankkeen tavoitteita ja sisältöä.

Kuvan värien säätö ja kontrastin muokkaus yms. pikseleiden sävyarvojen muuttaminen ovat perinteisiä tapoja muokata ilmakuvan visuaalista ilmettä ja korostaa haluttuja kuvapiirteitä. Energiapuukohteiden selvittelyssä näistä menetelmistä ei havaittu olevan varsinaista apua. Kontrastia säätämällä saattoi yksittäisten latvusten erotuskyky parantua jossain määrin mutta verrattuna kuvion puustotietojen tulkintaan ennen kontrastin säätöä ja sen jälkeen, ei lopputuloksessa ollut havaittavaa eroa. On myös huomioitava, että ilmakuvan keskusprojektiivisuudesta johtuen, jos kuvan reuna-alueilla kontrastin säätö saattoi joissain tapauksissa parantaa kuvan visuaalista tulkittavuutta, niin se johti helposti kuvan keskiosan liian terävään kontrastiin, joka puolestaan vaikeutti visuaalista tulkittavuutta. Jokainen ilmakehän oma yksilönsä eikä kahta samanlaista ilmakehää ole johtuen ilmakehän vallitsevista olosuhteista, jotka eivät ole koskaan samanlaisia kahden eri kuvan ottohetskellä. Värisävyjä säätämällä puuston kuvalta erottelukykä ei saatu parannettua yksittäisiä kuvioita lukuun ottamatta.

6 Pohdintaa

Etukäteen arvioitiin, että energiapuukohteet voitaisiin tulkita ilmakuvalla visuaalisesti kuitenkin sillä varauksella, että taimikoita ja muita nuoria tiheitä metsiä ei voida erottaa ilmakuvalla erilleen. Tämän vuoksi jo etukäteen arvioitiin, että ennakkotulkinnan apuna on oltava tavalla tai toisella hankittua pituustietoa. Uusi ja varma menetelmä tähän olisi laserkeilaus, joka on kuitenkin jätettävä pois

potentiaalisista menetelmistä kalleutensa vuoksi. Pituusmittaus stereokuvilta osoittautui menetelmänä tähän sopivaksi, mutta kuitenkin yllättävän epävarmaksi. Sen sijaan automaattisesti toimiva pituusmittaus näytti toimivan harhattomasti vaatisi tarkemman selvityksen.

Kevyin ja jossain määrin käyttökelpoinen pikamenetelmä esimerkiksi lämpölaitoksen akuuttiin raaka-ainehuoltoon voisi olla pelkkä visuaalinen tulkinta vääräväri-ilmakuvulta, jonka jälkeen potentiaaliset kohteet tarkistettaisiin maastossa taimikkokuvioiden poistamiseksi. Menetelmällä näyttäisi löytyvän noin 80 – 90 % kohteista. Samalla tulisi selvitettyä kohteille sopiva hakkuutapa ja korjuumenetelmä. Menetelmää voisi käyttää kuka tahansa energiapuuta hankkiva taho, jos tällä on käytössään ilmakuvat ja käyttäjä on tottunut tulkitsemaan niitä. Ilmakuvulta etsitään visuaalisesti tiheiköiltä näyttävät metsiköt, jotka tarkistetaan maastossa.

Toinen menetelmä, joka vaatii vielä jatkokehittelyä, on tietyn pituisten metsiköiden etsiminen ilmakuvilta ja näiden tiheyden tulkinta visuaalisesti joko hyvälaatuiselta ilmakuvalta tai sovelluksen tuottamalta rasterikuvalta (kuva 14). Pituudenmittausmenetelmä on kehitettävissä helposti Espa Systemsin ohjelmistoon. Menetelmästä olisi kehitettävissä myös kaupallinen sovellus. Menetelmän kehitykseen kannattaa yhdistää myös muu puuston määrän mittaus. Onhan myös järeämmän puun käyttäminen energiapuuksi tulevaisuudessa entistä potentiaalisempi vaihtoehto.

LIITTEET

Liite 1. Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

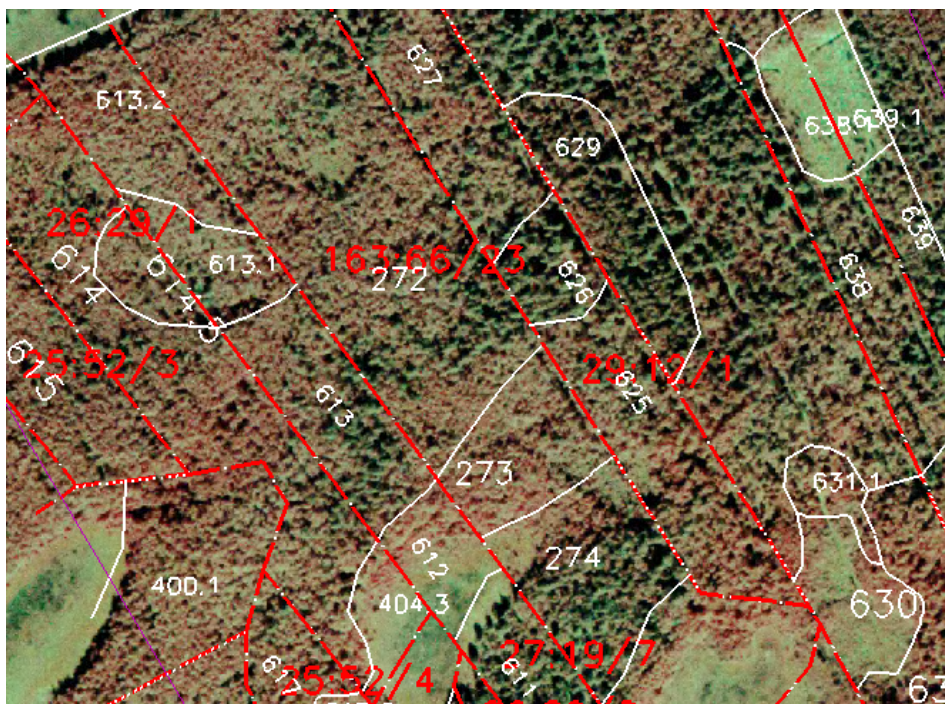
Liite 2. Digitaalinen fotogrammetrinen työasema

KIRJALLISUUS

Anttila, P. & Lehtikoinen, M. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten estimointi ilmakuvilta puoliautomaattisella latvusten segmentoinnilla. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 381-389.

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Koivun mittapistetiheyden vaikutus keskipituusarvioon	9
Kuva 2.	Männyn mittapistetiheyden vaikutus keskipituusarvioon	10
Kuva 3.	Tarkemman vertailumitan ja metsäsuunnittelijan arvioiman keskipituuden vaihtelu koivulla	11
Kuva 4.	Tarkemman vertailumitan ja FM-Kartan mittaaman keskipituuden vaihtelu koivulla	12
Kuva 5.	Tarkemman vertailumitan ja metsäsuunnittelijan arvioiman keskipituuden vaihtelu männyllä	13
Kuva 6.	Tarkemman vertailumitan ja FM-Kartan mittaaman keskipituuden vaihtelu männyllä.	13
Kuva 7.	Tarkemman vertailumitan ja metsäsuunnittelijan arvioiman keskipituuden vaihtelu kuusella	14
Kuva 8.	Tarkemman vertailumitan ja FM-Kartan mittaaman keskipituuden vaihtelu kuusella	14
Kuva 9.	Koivun maksimimitta maastossa mitatun ja FM-Kartassa stereokuvilta mitatun pituuden välillä.	15
Kuva 10.	Espan työaseman avulla luotu puuston korkeusmalli. Vaalean vihreä väritys kuvaa pituusluokkaa 10 –11 m. Punaisemmat luokat ovat tätä luokkaa suurempia ja siniset pienempiä. Luokitus on tehty metrin välein. Kuvaan on tehty myös kolmiulotteisuusvaikutelmaa lisäävä varjostus.	17



Kuva 11. Väärävärakuva samalta alueelta. Osa kuviorajoista ei erotu tässä ilmakuvassa, mutta erottuu selkeästi korkeusmallissa. Korkeusmallin ja kuviorajojen paikkansapitävyys todettiin maastossa myös GPS:n avulla.

17

17

KATSAUS KAUKOKARTOITUKSEN MAHDOLLISUUKSIIN ENERGIAPUUKOHTIEN KARTOITUKSESSA

1 JOHDANTO	3
2 KAUKOKARTOITUSAINEISTOT	4
2.1 Numeeriset kaukokartoitusaineistot	4
2.1.1 Numeeriset ilmakuvat	4
2.1.2 Passiiviset satelliittikuvasektorit	6
2.2 Analogiset kaukokartoitusaineistot	6
3 KUVATULKINTA	7
3.1 Visuaalinen ilmakuvatulkinta	7
3.2 Numeerinen kuvatulkinta	9
3.2.1 Yksittäisen puun numeerinen tulkinta	11
3.2.2 Numeeristen kuvien käyttö metsien inventoinnissa	12
4 TUTKIMUKSET	14
4.1 Visuaalinen tulkinta	14
4.1.1 Metsikkötasolla	14
4.1.1.1 Koetuloksia ilmakuvien käyttömahdollisuuksista energiapuun arvioinnissa Pohjanmaalla ja Pohjois-Savossa	14
4.1.1.2 Kuvioittaisen puustotietojen ajantasaistus kasvumallein ja visuaalisella ilmakuvatulkinnalla	14
4.1.1.3 Kaukokartoitusmenetelmät, kasvillisuuden tyypittely ja kuviokoko kasvillisuuskartoituksissa	15
4.1.1.4 Väri-infrakuvien käyttö kunnostusajituksen päätöksenteossa	16
4.1.1.5 NOAA- lämpösatelliittikuvat metsämaan käytön suunnittelussa	17
4.1.1.6 Monilähteisen inventoinnin tehostaminen tietolähteitä painottamalla	18
4.2 Numeerinen tulkinta	19
4.2.1 Metsikkötasolla	19
4.2.1.1 Kuvioittaisten puustotunnusten ja toimenpide-ehdotusten estimointi <i>k</i> -lähimmän naapurin menetelmällä Landsat TM-satelliittikuvan, vanhan inventointitiedon ja kuviotason tukiaineiston avulla	19
4.2.1.2 Kuvioittaisten puustotunnusten estimointi ilmakuvilta puoliautomaattisella latvusten segmentoinnilla	20
4.2.1.3 Segmentointimenetelmien käyttökelpoisuus ennakkokuvioinnissa	21
4.2.1.4 Eriaikaiset ilmakuvat metsäkuvioiden muutosten tunnistamisessa	22
4.2.1.5 Satelliittikuva-avusteinen metsien kasvupaikkaluokitus metsäverotusta varten	23
4.2.1.6 Metsävauriutilanteen kartoitus Itä-Lapissa ja Länsi-Kuolassa maastohavaintojen ja kaukokartoituksen avulla	24
4.2.1.7 Satelliittikuvainventoinnin puuston tilavuusestimaattien luotettavuus tilatasolla	25
4.2.1.8 Kuvan segmentointi metsien monilähteisen inventoinnin työkaluna	25
4.2.1.9 Erittäin korkean erotuskyvyn satelliittikuvien käyttö kuvantulkintatuloksen parantamiseksi	26
4.2.2 Puutasolla	27
4.2.2.1 Yksittäisen puun numeerinen ilmakuvatulkintamenetelmä	27
4.2.2.2 Yksittäisten puiden tunnistaminen numeerisilta ilmakuvilta	27
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	28
LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

Metsätalouden suunnittelussa pyritään vähentämään kalliin maastotyöskentelyn osuutta työssä. Tähän pyrittäessä yksi varteenotettava vaihtoehto on kaukokartoituksen hyväksikäyttö. Tietotekniikan, ammattitaidon ja kuvien laadun kehittyessä kaukokartoituksen monipuoliseen hyödyntämiseen on entistä paremmat mahdollisuudet.

Kaukokartoitus on tietojen keräämistä sähkömagneettisen säteilyn avulla ilman fyysistä kosketusta tutkittaviin kohteisiin. Kaukokartoitusjärjestelmän toiminnot ovat tiedon hankinta, siirto, tallennus, esikäsittely, tulkinta ja tulosten esittäminen. Passiivisessa kaukokartoituksessa rajoitutaan käyttämään ilmaisimia, jotka keräävät kohteiden emittoimaa (lähettämää) tai heijastamaa säteilyä. Aktiivisessa kaukokartoitusjärjestelmässä on säteilylähde, joka valaisee kohteen (esim. tutka). Havaittu energia on tällöin mittalaitteen itsensä lähettämää, tutkittavasta kohteesta heijastunutta säteilyä. Yleensä kaukokartoituksen apuna käytetään maastossa mitattua tai muusta aputiedosta tulkittua referenssitietoa, jota tarvitaan tulkinnan avuksi, mittalaitteen kalibroimiseksi sekä tulkintatulosten oikeellisuuden varmistamiseksi. (Kangas ym. 2003)

Kaukokartoituksella on useita etuja verrattaessa sitä perinteiseen maastossa suoritettavaan metsien inventointiin. Kaukokartoituksen keinoin saadaan edullisesti tietoa laajoilta alueilta samanaikaisesti. Kuvia voidaan ottaa eri ajankohtina, jolloin pystytään seuraamaan alueella tapahtuvia muutoksia. Numeerisella kaukokartoitusaineistolla tehdyt analyysit ovat lisäksi objektiivisia eli arvioijasta riippumattomia. Kaukokartoituksen avulla voidaan havainnoida myös muita aallonpituuksia kuin ihmissilmän näkemän valon aallonpituudet. Suurin hyöty kaukokartoituksesta saadaan laajoilla alueilla ja vaikeasti saavutettavissa kohteissa sekä erilaisissa seurantatehtävissä. Kaukokartoituksen käyttöä rajoittavia tekijöitä ovat esim. sääolosuhteet (pilvisyys) sekä aineiston geometrinen erotuskyky ja tarkkuus. (Kangas ym. 2003)

Maanpinnasta heijastuvaa sähkömagneettista säteilyä mitataan kameroilla, keilaimilla tai muilla havaintolaitteilla, joita voidaan sijoittaa joko helikopteriin, lentokoneeseen tai maata kiertävään satelliittiin. kaukokartoitusaineisto voi olla joko analogisessa tai digitaalisessa muodossa. Perinteisessä valokuvauksessa, joka on yleisin menetelmä lentokoneesta tapahtuvassa

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

ilmakuvauksessa, kamera tallentaa havainnot filmille analogisessa muodossa. Filmille tallennetut kuvat on mahdollista muuttaa numeeriseen eli digitaaliseen muotoon skannaamalla. Toinen vaihtoehto on suorittaa kuvaus digitaalikameralla. Satelliitissa mittalaite on useimmiten keilain. Keilaimella havaitut säteilytiedot kootaan tiedontallentimeen digitaalisessa muodossa. Säteilyn intensiteetti mitataan kuvaelementeistä (pikseli), jotka maan pinnalla vastaavat tietynkokoista ruutua; tarkimmillaan ruudun sivu voi maastossa olla alle metrin. (Kangas ym. 2003)

Tämän selvityksen tavoitteena on koota yhteen tutkimuksia, jotka liittyvät kaukokartoitukseen ja tarkemmin ilma- ja satelliittikuvien visuaaliseen ja numeeriseen tulkintaan.

2 KAUKOKARTOITUSAINEISTOT

2.1 Numeeriset kaukokartoitusaineistot

2.1.1 Numeeriset ilmakuvat

Tietotekniikan kehittymisen myötä on analogisten ilmakuvien mittauksesta siirrytty digitaalisiin eli numeerisiin sovelluksiin. Numeerisia ilmavalokuvia on jo jonkin aikaa tuotettu skannaamalla

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

analoginen kuva negatiivivedoksesta tarkoitukseen sopivalla skannerilla. Analogisten ilmakuviin vaihtoehdoksi ovat viime vuosina nousseet video- tai digitaalikameroilla otetut kuvat, joiden sensorina on yleensä CCD-ilmaisimatriisi (Charge Couple Device), kuten useimmissa keilaamattomissa satelliittisensoreissa. (Kangas ym. 2003)

Numeerinen ilmakekuva on mahdollista oikaista haluttuun koordinaatistoon tunnettujen tukipisteiden, kameran kalibrointitietojen ja numeerisen korkeusmallin avulla. Oikaisun tuloksena syntyvän digitaalisen ortoilmakuvan etuna on, että se yhdistää ilmakekuvan informaation kartan spatiaaliseen tarkkuuteen. Lisäksi kuvan mittakaavaa on mahdollista muuttaa mielivaltaisesti. (Kangas ym. 2003)

Numeerisilta ilmakekuvilta voidaan tehdä sekä visuaalista että numeerista tulkintaa joko metsikkö- tai puutasolla. Myös kuvamittausta on mahdollista suorittaa samoin kuin analogisilta kuvilta. Numeerisilla ilmakekuvilla on parempi spatiaalinen erotuskyky kuin satelliittikuvilla ja ne ovat halvempia pinta-alayksikköä kohden kuin vaihtoehtoiset lentokonemittaukset. Toisaalta numeeriset ilmakekuvat ovat yleensä kalliimpia kuin satelliittikuvat. (Kangas ym. 2003)

Numeeriset ilmakekuvat ovat parhaimmillaan tulossa metsäsuunnitteluun ja metsien inventointiin. Kehityksen ensimmäinen vaihe on numeeristen ilmakekuvien käyttö pohjamateriaalina kartta ja GIS-sovelluksissa sekä kuvaruudulla tapahtuvassa visuaalisessa tulkinnassa. Numeeriset ortoilmakuvat ovatkin jo lähes aina lähtökohtana esim. metsäsuunnittelussa. Seuraava, huomattavasti vaativampi kehitysaskel olisi numeeristen ilmakekuvien hyödyntäminen automaattisessa numeerisessa tulkinnassa. (Kangas ym. 2003)

Mikäli numeeristen ilmakekuvien visuaalisessa tulkinnassa on mahdollista käyttää digitaalista stereotyöasemaa, kuvilta voidaan tehdä yksittäisiä puita koskevia mittauksia. Parhaimmillaan esimerkiksi puiden pituus pystytään määrittämään 0,5 m tarkkuudella. Yksittäisten puiden fotogrammetrisen tulkinnan suurimmiksi ongelmiksi ovat niin digitaalisella kuin analogisella stereotyöasemalla työskenneltäessä osoittautuneet puiden tarkka paikantaminen kuvalla, aluspuiden näkyvyys, puiden tyven näkyvyys ja huono stereovaikutelma kuvien reuna-alueilla. (Kangas ym. 2003)

Numeeristen ilmakekuvien spatiaalinen tarkkuus riittää hyvin jopa yksittäisten puiden kartoitukseen ja mittaukseen. Esim. 1:30 000 mittakaavaan kuvatulta kuvalta päästään helposti skannaustarkkuuteen, joka vastaa filmin erotuskykyä (n. 60 cm maastossa). Alempaa kuvattaessa

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

spatiaalinen erotuskyky luonnollisesti kasvaa. Puutason tulkinnessa käytetään yleensä kuvausmittakaavoja 1:5000 – 1:16 000, kuviotason tulkinnessa 1:30 000 mittakaava on riittävä. (Kangas ym. 2003)

2.1.2 Passiiviset satelliittikuvagensorit

Satelliittikuva koostuu elementeistä, joiden koko maanpinnalla on vakio. Kuvaelementtiä vastaavasta maastonkohdasta heijastua säteily mitataan satelliitissa sijaitsevalla havaintolaitteella, joka rekisteröi heijastuvaa valoa tai lämpösäteilyä spektrin eri osissa eri kanaville. Tällä hetkellä avaruudessa on toiminnassa lukuisa määrä satelliitteja, joista metsän kartoitustehtävissä yleisimmin käytetään Landsat-, SPOT-, ja NOAA, IRS- ja IKONOS satelliittikuvia. Näistä NOAA edustaa karkean spatiaalisen resoluution satelliittikuvia, Landsat ja SPOT keskiresoluution kuvia ja IRS sekä IKONOS korkean resoluution kuvia. (Kangas ym. 2003)

Karkean resoluution satelliittikuvia voidaan hyödyntää erittäin laajojen alueiden, kuten Euroopan metsävarojen inventoinnissa. Esimerkiksi NOAA-kuvien avulla voidaan nopeasti ja edullisesti tuottaa tilastotietoja ja metsävarakarttoja Euroopan tasolla. Keskiresoluution satelliittikuvien luotettavuus on puolestaan parhaimmillaan silloin, kun arvioidaan maankäyttöluokkatason tunnuksia. Metsäluokista avohakkuut erottuvat helposti, samoin taimikot erotetaan vanhemmista metsiköistä. Metsikön sulkeutumisen jälkeen säteilyarvot muuttuvat vain vähän, minkä vuoksi runkotilavuuden ennustaminen ei satelliittikuvilta ole vielä onnistunut hyvin. Yksittäisen metsikön tilavuus voidaan arvioida vajaan 50 % keskivirheellä. Lupaavia tuloksia on saatu kahden eri vuosina otetun kuvan käytöstä etsittäessä harvennushakkuita, tuhoja tai muita muutoksia. Korkean resoluution satelliittikuvat ovat kilpailijoita numeerisille ilmakuville. Kuvia voidaan hyödyntää esim. kartoituksessa, joka tähän asti on Suomessa tehty täysin ilmakuvien avulla. Metsätaloudessa korkean resoluution satelliittikuvia voitaisiin periaatteessa käyttää esim. metsäsuunnittelun pohjamateriaalina, mutta toistaiseksi kuvien korkea hinta on jarruttanut tätä kehitystä. (Kangas ym. 2003)

2.2 Analogiset kaukokartoitusaineistot

Kaukokuvien käyttö metsävarojen inventoinnissa lähti liikkeelle mustavalkoilmakuvista, joista on useimmiten siirrytty käyttämään vääräväri-ilmakuvia ja satelliittikuvia. Väri- ja vääräväri-ilmakuvan

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

etuna mustavalkokuvaan nähden on, että kuvan silmävarainen tulkinta helpottuu: ihmissilmä on herkempi värisävyjen kuin harmaasävyjen vaihtelulle. Värikuvan ongelmana on metsämaan kohdalla kuvan liiallinen vihreäsävyisyys, mutta värikuvat sopivat hyvin esim. viljelymaiden ja vesistöjen kuvauksiin. Metsätaloudessa onkin käytetty lähes yksinomaan väärävärικuvia niiden paremman informaattiosisällön vuoksi. Ilmakuvan ominaisuudet riippuvat kuvauskorkeuden ja -olosuhteiden lisäksi käytetystä välineistöstä ja materiaalista, kuten filmistä ja suotimista sekä kehitysprosessista. (Tokola ym. 1998)

3 KUVATULKINTA

Ilmakuvia voidaan tulkita joko visuaalisesti (tulkitsijana ihminen) tai numeerisesti (tulkitsijana tietokone). Ihminen pystyy havaitsemaan ja tulkitsemaan joustavammin kuvalla olevia geometrisiä hahmoja ja niiden suhteita sekä toiminnallisia yhteyksiä kuin tietokone. Sävyarvojen ja usean aallonpituusalueen yhtäaikainen käyttö on puolestaan tietokoneella huomattavasti tehokkaampaa. Numeerisen tulkinnan etuna on myös objektiivisuus ja suuri laskentakapasiteetti. (Kangas ym. 2003)

3.1 Visuaalinen ilmakuvatulkinta

Visuaalista ilmakuvatulkintaa hyödynnetään mm. metsätalouden suunnittelussa sekä peruskartoituksessa. (Kangas ym. 2003)

Peräkkäisten kuvien yhteistä aluetta voidaan tarkastella stereokuvana. Stereopeittoalueella olevat kohteet nähdään eri kuvissa eri kulmista, jolloin voidaan muodostaa maastosta kolmiulotteinen vaikutelma perustuen kohteiden parallaksieroihin. Parallaksi tarkoittaa kohteesta saadun kuvan muutosta, kun tarkastelukulma muuttuu. Stereovaikutelma syntyy, kun toista kuvaa tarkastellaan oikealla ja toista vasemmalla silmällä. Ilmakantaa, eli peräkkäisten kuvien kuvanottoapaikkojen välistä etäisyyttä, vastaa stereotarkastelussa kuvakanta (silmien välinen etäisyys). Apuna stereokatselussa on tasku- ja peilistereoskooppi, tarkemmissa kuvamittauksissa analoginen tai digitaalinen stereotyöasema. Linssi- eli taskustereoskoopilla silmien näkösaiteet saatetaan yhdensuuntaisiksi ja samalla kuva suurennetaan 2-3 kertaiseksi. Linssistereoskoopin haittana on,

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

että yhdellä kertaa voidaan tarkastella vain kapeaa kaistaletta, koska kuvakanta on n. 6 cm. Suurempia kuvia voidaan tarkastella peilistereoskoopilla, jonka kuvakanta on n. 25 cm. (Kangas ym. 2003)

Ilmakuvalta tehtävät mittaukset

Ilmakuvilta voidaan eräissä tapauksissa tunnistaa ja mitata puustotunnuksia, mahdollisia tunnuksia ovat mm. latvuspeittävyys, puulaji ja yksittäisen puun pituus. Käytännön metsätaloudessa puustotunnuksia ei Suomessa yleensä mitata kovalta, mutta puulajin tunnistus on yleistä. Kuvalla olevan kohteen havaitseminen ja tunnistaminen tapahtuu kuvaelementtien avulla, joita ovat mm. seuraavat:

- värisävy
- varjot
- koko (suhteellinen)
- muoto
- kuvioitus (esim. suon jänteet)
- rakenne (esim. metsikön tiheys)
- korkeussuhteet
- toiminnallinen yhteys (ympäristö)
- ajallinen yhteys (kuvausajankohta)

Tulkinta-avaimilla tarkoitetaan tyypillistä esimerkkiä kuvalla näkyvästä kohteesta (esim. nuori männikkö). Tulkinta-avainten käytössä on kuitenkin hyvä muistaa, että värisävyt eri kuvausten välillä saattavat vaihdella huomattavasti, joten kaaviossa mainitut sävyt eivät aina vastaa täysin todellisuutta.

Esimerkkinä puulajien tulkinta-avaimista voitaisiin käyttää männyn vastaavaa. Männyn muoto ilmakuvalta on säännöllisen pyöreä ja sen latvuston pinta on ”pehmeä”. Mänty on valopuu, se siivilöi tasaisesti valoa eli se ei rajaudu kuvalle terävästi eikä se muodosta voimakkaita varjoja ja sen heittovarjo on tylppälatvainen. Se sijaitsee maastollisesti yleensä ylempänä kuin kuusi ja koivu. Männyn yleissävy väri-infrakuvassa on lattean viherruskea. Kuusi puolestaan on varjopuu, se muodostaa jyrkkiä metsikön sisäisiä varjoja. Sen latvuston pinta on ”piikikäs” ja muoto säteittäisen

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

pyöreä. Kuusi on maastollisesti suhteellisen alhaalla. Yksittäiset puut erottuvat paremmin kuin männikössä. Kuusen yleissävy väri-infrakuvassa on mäntyä tummempi ja sinipunainen. Kuolleissa kuusissa sävy on kirkkaan turkoosi. Koivu on ilmakuvalla harsomainen, epäterävästi piirtyvä puu. Sen muoto on epäsymmetrinen ja sen heittovarjossa oksisto ulottuu alemmas kuin männyllä. Koivun yleissävy väri-infrakuvassa on purppuranpunainen tai punainen. Lehtipuista haapa ja paju ovat sävyltään vaaleanpunaisia ja hehkuvampia kuin koivu, leppä puolestaan pystytään erottamaan puhtaina metsiköinä koivusta värin tummemman purppurasävyen perusteella. (Auvinen ym. 1997)

Säteissiirtymän perusteella yksittäiseltä kuvalta voidaan mitata sellaisten kohteiden korkeuksia, joiden tyvi ja huippu näkyvät kuvalla. Koska säteissiirtymä on säteittäinen nadiiriin nähden, se täytyy mitata nadiirin ja kohteen yhdysjanan suunnassa. Nadiirin sijainti voidaan päätellä melko tarkasti puiden kallistussuuntien leikkauspisteen perusteella. Puun pituus voidaan määrittää myös stereokuvaparilta kohteen parallaxieron perusteella. (Auvinen ym. 1997)

3.2 Numeerinen kuvatulkinta

Numeeristen kuvien tulkinta tapahtuu yleensä perustuen niiden luokitteluun, mutta niitä voidaan tulkita myös regressioanalyysillä ja muilla jatkuvien ilmiöiden estimointimenetelmillä. Kaukokartoitusaineiston luokittelussa kuvapiirteet ryhmitellään mahdollisimman homogeenisiin osiin tai ositteisiin. Tietokoneella tehtävä numeerinen kuvatulkinta perustuu kaukokartoitusmateriaalista mitattavien piirteiden (esim. kuvan harmaasävyarvojen) ja maastotunnusten välisen riippuvuuden mahdolliseen olemassaoloon. Numeerinen kuvatulkinta on yleensä hahmojen luokitusta yhtenäisiin luokkiin eli hahmontunnistusta. Sekventiaalisessa luokituksessa sävyarvoista saadut tiedot eli hahmot luokitellaan käyttäen hyväksi ainoastaan hahmovektorien elementtien arvoja. Spatiaalisessa (kontekstuaalinen) luokituksessa otetaan lisäksi huomioon hahmovektorin sijainti digitaalisessa kuvassa sekä ympäristön vektorit ja luokitustulokset. Metsän inventoinnissa hyödynnettyjä numeerisen kuvatulkinnan menetelmiä ovat esim. ohjattu ja ohjaamaton luokittelu, ositettu otanta ja ei-parametrinen klusterointi. (Kangas ym. 2003)

Ohjattu luokitus perustuu tietoon kullekin tulkittavalle kohteelle tyypillisistä sävyarvoista. Kohteiden tyypilliset sävyarvot selvitetään tukialuemittausten avulla. Toisin sanoen kuvalta rajataan kutakin

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

tulkittavaa luokkaa kuvaavat esimerkkialueet. Tukialueiden maastosisältö selvitetään joko yleispiirteisesti esim. ilmakuviin visuaalisella tulkinnalla tai yksityiskohtaisesti maastomittauksiin perustuen. Kun tukialueiden maastosisältö tunnetaan, niiden avulla voidaan laskea luokittaiset sävyarvotunnukset ja suorittaa tulkinta koko kuvan alueelle. Tavallisesti tukialueiden rajaukset tehdään interaktiivisesti siten, että kuva tulostetaan kuvaputkelle, johon digitoidaan tukialueet. Kutakin luokkaa kohden tarvitaan tukialue, jonka pikseleiden lukumäärä on 10-100 kertaa kanavien lukumäärä. Kunkin tulkittavan luokan tukialue muodostetaan useasta kuvan eri puolella sijaitsevasta alueesta. Ohjattua luokitusta sovellettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota huolelliseen tukialueiden valintaan ja tulosten riippumattomaan kontrollointiin. Varsinainen luokittelu voidaan tehdä usealla eri menetelmällä. Yleisimmin käytettyjä ovat laatikkoluokitus, lähimmän luokakeskuksen (nearest neighbor = keskiarvoluokittelija) sekä maximum likelihood-menetelmät. (Kangas ym. 2003)

Mikäli kohteelle tyypillistä sävy- tai tekstuuriarvoista ei ole tietoa, voidaan käyttää ohjaamatonta tulkintaa. Ohjaamattomassa menetelmässä kuva jaetaan pelkästään piirre- arvojen perusteella luokkiin, joiden sisältä selvitetään jälkikäteen. Ohjaamattoman menetelmän etuna on objektiivisuus ja haittapuolena on lukuisa määrä epäkiinnostavia luokkia. Ohjaamatonta luokitusta voidaan käyttää paitsi itsenäisesti myös ohjatun luokittelun ensimmäisenä vaiheena, jolloin ryhmittelyn tavoitteena on selvittää kuva-alueen spektriset luokat. Näin selvitettyjä luokkia käytetään tämän jälkeen ohjatun luokituksen tukialueiden valinnan perusteena. Ohjaamattomassa tulkinnassa eli klusteroinnissa luokat muodostetaan sävyarvojen perusteella siten, että ne erottelevat kohteet mahdollisimman hyvin. Erottelu tapahtuu tarkoitukseen kehitettyjen ryhmitysalgoritmien perusteella. Tällaisia algoritmeja ovat mm. K-means-algoritmi sekä ei-parametrinen klusterointi. (Kangas ym. 2003)

Ei-parametrinen klusterointi perustuu kuvan sävyarvojen tiheysfunktioon (frekvenssijakaumaan). Tiheysfunktion ryhmittelyssä tiheysarvo yhdistetään siihen naapuriinsa, jolla on suurin tiheysarvo. Algoritmi vaatii yhden kynnyksarvon, joka vaikuttaa syntyvien luokkien lukumäärään. (Kangas ym. 2003)

Ositettu otanta on tilastomatemattinen informaation hankintakeino, jota voidaan pitää ohjaamattoman luokituksen erityistapauksena. Ositetussa otannassa perusjoukko jaetaan ennakkoinformaation eli aputiedon perusteella toisensa poissulkeviin osiin ja jokaisesta osasta poimitaan otos. Metsän inventoinnissa voidaan käyttää kaksivaiheista otantaa osituksella. Otos poimitaan tällöin kahdessa vaiheessa. Menetelmä lähtee liikkeelle ensimmäisen vaiheen otoksen (

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

suuri joukko) määrittämisestä. Otokselle hankitaan jotakin helposti saatavaa informaatiota (aputietoa), kuten kaukokartoitustietoa, jonka avulla otos ositetaan mahdollisimman homogeenisiin ositteisiin esim. k-means klusteroinnilla. Tämän jälkeen kustakin ositteesta poimitaan suppeampi toinen otos, jolle mitataan tarvittavat tunnuksat tarkemmin kuin ensimmäisessä vaiheessa (esim. maastomittaukset). Lopuksi toiseen vaiheeseen mittauksien tulokset yleistetään kaikille ensimmäisen vaiheen koealoille. (Kangas ym. 2003)

3.2.1 Yksittäisen puun numeerinen tulkinta

Nykyaikaiset korkearesoluutioiset kaukokartoituskuvat, kuten numeeriset ilmakuvat, spektrometrikuvat ja laserkeilaus mahdollistavat yksittäisten puiden automaattisen tulkinnan. Kuvasta pyritään tunnistamaan yksittäisten puiden latvukset ja määrittämään mahdollisuuksien mukaan latvuksen leveys ja puulaji. Latvusten lukumäärästä saadaan runkoluku ja niiden sijainnin avulla voidaan laatia puukartta. Jos puulaji ja latvuksen leveys saadaan tulkittua, voidaan mallien avulla pyrkiä määrittämään rinnankorkeusläpimitta ja sitä kautta edelleen pituusmalleilla pituus. Näistä tunnuksista on laskettavissa lähes kaikki keskeiset puustotunnukset. Koealoille ja kuvioille voidaan vastaavasti laskea kyseiset tiedot puulajiluokittain. Mikäli käytettävissä on laserkeilainaineistoa, yksittäisten puiden pituus voidaan määrittää alle metrin keskivirheellä. Tämä tarkoittaa esim. tilavuuden estimointia ratkaisevasti. Puiden pituustieto voidaan saada myös perustuen digitaaliseen fotogrammetriaan, jolloin tavoitteena on selvittää kahden tai useamman samasta kohteesta otetun ilmakuvan avulla latvusten kolmiulotteiset paikat. Vähentämällä puiden latvojen korkeudesta maaston korkeus, joka saadaan numeerisesta korkeusmallista, päästää yksittäisten puiden pituuteen. (Kangas ym. 2003)

Ongelmakohtia yksittäisten puiden tulkinnassa ovat puiden tarkan sijainnin määrittäminen sekä maanpinnan ja aluspuiden huono näkyvyys tiheässä tai useampijaksoisessa metsässä. Puiden sijainnin määrittämisen tarkkuutta voidaan lisätä samasta kohteesta otettujen kuvien määrää lisäämällä. Mitä useammasta suunnasta puu nähdään, sitä tarkemmin latvan sijainti voidaan määrittää. Maanpinnan huonoa näkyvyyttä voidaan kompensoida hyödyntämällä laskennassa maaston numeerista korkeusmallia, jonka tarkkuus ei kuitenkaan ole aina riittävä. Näkymättömissä olevaa latvuserrosta voidaan estimoida yhdistämällä teoreettisia rinnankorkeusläpimittajakaumia ilmakuvasta saatuun informaatioon, jolloin pienet puut saadaan laskentaan mukaan teoreettisen jakauman kautta. (Kangas ym. 2003)

3.2.2 Numeeristen kuvien käyttö metsien inventoinnissa

Satelliittikuvia on metsäarvioinnin ja metsätalouden suunnittelun apuvälineenä Suomessa sovellettu erityisesti valtakunnan metsien inventoinnissa. Uuden teknologian hyödyntämistä vaikeuttaa saatavien tietojen karkeuskäytössä olevilla arviointi- ja inventointimenetelmillä saatavaan tietoon verrattuna. Uutta tietoa on myös vaikea sellaisenaan syöttää seuranta- ja suunnittelurutiineihin. Laajojen alueiden inventointi- ja seurantajärjestelmiin kaukokartoitusmenetelmät kuitenkin tuovat uusia mahdollisuuksia. satelliittikuvat ovatkin potentiaalinen mahdollisuus valtakunnan metsien inventoinnin koeala-aineiston hyväksikäyttöön tavallista pienempien osa-alueiden (esim. kunta) tulosten laskennassa. (Tokola ym.1998)

Kun metsävarakartoitushankkeessa lähdetään hyödyntämään numeerista kuvatulointia, on menetelmää valittaessa huomioitava seuraavat kriittiset vaiheet:

1. Metsän erottaminen muusta maankäyttöön varatusta maasta - temaattinen maankäyttöluokitus
2. Sävyarvot ja niiden muunnokset metsän sisäisten ominaisuuksien arvioinnissa – hahmovektoreiden valinta
3. Maastoaineiston keruu ja sen yhdistäminen kaukokartoitustiedon kanssa – tukialuetiedon keruu ja käyttö
4. Puuston ja maaperän tulkinta
5. Attribuuttitiedon laskenta kuvaelementeille ja teemakarttojen tuottaminen (Tokola ym.1998)

Metsävarojen inventoinnissa satelliittikuvia on yleisimmin käytetty eri maankäyttölajien ja karkeiden puustoluokkien määrittämiseen. Menetelmänä useimmiten on käytetty ohjattua tulkintaa tai mahdollisesti tukialueiden valinnassa on hyödynnetty ohjaamattoman luokituksen tuloksia. Koska metsävarojen inventoinnin ensimmäisenä vaiheena on metsien sijainnin määrittäminen, on maankäyttöluokituksella merkittävä osuus metsäinventoinnin toteutuksessa. (Tokola ym.1998)

Ruotsissa käynnistyi vuonna 1978 projekti NYTAX 83, jonka tarkoituksena oli selvittää uusien inventointimenetelmien soveltuvuutta Ruotsin valtakunnan metsien inventointiin. Tässä yhteydessä tutkittiin Landsat MSS- aineiston käyttömahdollisuuksia. Tutkimuksessa selvitettiin 1)

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

koealakohtaista arviointia, 2) alueittaista arviointia ja 3) muutosten tulkintaa hakkuiden osalta. Ensimmäisessä osassa aineistona oli 1 750 kpl inventointikoealoja ja ne luokiteltiin 23 luokkaan maximum-likelihood- periaatteen mukaan. Puustoisia luokkia oli 8. Puustoiset alueet oli luokiteltu 93- prosenttisesti oikein. Suot sekoittuivat helposti metsiin ja viljelyksiin. Metsämaata tutkittiin myös tarkemmin eivätkä tulokset olleet kovin lupaavia. Parhaiten luokiteltiin hakkukypsät metsät, joista 76 % oli luokiteltu oikein. Aukeista ja taimikoista 22 % luokiteltiin vanhaksi metsäksi. Puulajeja ei voitu erottaa toisistaan. Tutkimuksen toisessa osuudessa tarkasteltiin pinta-alaositteiden estimoinnin tarkkuutta. Ositteina olivat metsämaa, suo, rakennettu maa, kaivettu maa ja vesi. Testialueina oli kahdeksan 625 km²:n aluetta, joissa jokaisella alueella oli 134 500 pikseliä. Paras tarkkuus saatiin vesiosuudelle, metsämaa estimoititiin tyydyttävästi ja huonoin tarkkuus oli suo-osuudella. Kesquivirhe oli 2-5 %. (Tokola ym.1998)

4 TUTKIMUKSET

4.1 Visuaalinen tulkinta

4.1.1 Metsikkötasolla

4.1.1.1 Koetuloksia ilmakuvien käyttömahdollisuuksista energiapuun arvioinnissa Pohjanmaalla ja Pohjois-Savossa

Julkaisussa esitetään toinen tutkimusselostus ilmakuvien käyttömahdollisuuksista energiapuun arviointiin. Ensimmäinen osatutkimus tehtiin v. 1979-80 ja sitä käsittelevä tutkimusselostus on esitetty Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-sarjan niteessä 66. Tämä tutkimus kohdistuu kuvatulkintaan ja arvioimismenetelmän kehittämiseen.

Energiapuun arvioimismenetelmän laadinnassa päädyttiin kahteen vaihtoehtoiseen menetelmään: energiapuuesiintymien paikallistamiseen tähtäävä menetelmä ja toisaalta menetelmä, jossa rajoitetaan lähinnä keskimääräistulosten selvittämiseen. Molemmat vaihtoehdot perustuvat kuvatulkinnan ja maastoarvioinnin yhdistelmään.

Energiapuunesiintymien paikallistamiseen tähtäävässä arvioimismenetelmässä ensimmäisenä vaiheena on maastossa suoritettava linjoittainen arviointi. Maastossa kuljettujen linjojen väliin sijoitetaan sitten ilmakuvarajot. Tämän jälkeen ilmakuville piirretään arvioitavan alueen metsikkökuviot, joiden pinta-alojen laskennan jälkeen voidaan selvittää energiapuun kokonaiskuutiomäärä.

Jos edelliseen vaihtoehtoon sisällytettyjen linjojen lukumäärää vähennetään, lähestytään asteittain keskimääräistuloksiin rajoittuvaa energiapuun arvioimismenetelmää. Kuviot rajataan kehitysluokan mukaisesti linjaviivaa seuraten. Aiheeseen liittyviä tutkimuksia on kuitenkin vielä jatkettava. (Tiihonen & Virtanen 1983)

4.1.1.2 Kuvioittaisen puustotietojen ajantasaistus kasvumallein ja visuaalisella ilmakuvatulkinnalla

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

Seloste artikkelista: Anttila, P. 2002. Updating stand level inventory data applying growth models and visual interpretation of aerial photographs. Silva Fennica 36(2): 549-560.

Tässä tutkimuksessa kehitettiin metsäsuunnittelun maastotyön vähentämiseksi kaksi inventointimenetelmää, jotka perustuvat ilmakeuviin ja vanhoihin metsäsuunnitelmiin. Tutkimuksessa valittiin 12 metsäsuunnittelijaa, jotka jaettiin kahteen ryhmään. Jotta erot kuvioinneissa eri tulkitsijoiden välillä eivät olisi vaikuttaneet puustotunnusten tulkintaan, tulkinta tehtiin Solmu-arvioinnin kuvioille. Vanha TASO-puustotieto kasvatettiin MELA96-simulaattorilla vuoteen 1999. Xforest-paikkatietojärjestelmässä tulkittiin kuvioittain, vastasiko kasvatettu puustotieto ilmakeuvan näkymää. Jos puustotietoja ei esim. suunnittelukaudella tapahtuneen hakkuun vuoksi hyväksytty, menetelmässä 1 muutettiin kuvatulkin perusteella puusto-ositteiden keski-ikää, -läpimittaa ja -pituutta sekä pohjapinta-alaa tai runkolukua niiltä osin kuin oli tarpeen. Menetelmässä 2 sen sijaan katsottiin, löytyikö hakatuilta kuvioilta hakkuuehdotus vanhasta suunnitelmasta. Jos ehdotus löytyi ja hakkuu oli kuvan perusteella toteutettu ehdotuksen mukaisesti, hyväksyttiin ehdotus. Muussa tapauksessa tulkittiin kuviolla viimeksi toteutettu toimenpide ja toteutusvuosi. Mahdollisia toimenpiteitä olivat uudistaminen, harvennus ja uudistushakkuu. Jos kuviolla ei ollut tehty toimenpiteitä suunnittelukaudella, mutta kasvatettuja puustotietoja ei silti voitu hyväksyä, tulkittiin puusto visuaalisesti ilmakeuvalta kuten menetelmässä 1. Niillä kuvioilla, joilla ehdotus oli hyväksytty tai toimenpide tulkittu, puusto ajantasaistettiin kuvatulkin jälkeen uudelleen siten, että myös toimenpiteet simuloitiin.

Menetelmä 2 oli keskimäärin menetelmää 1 tarkempi iän, runkoluvun, keskipituuden ja tilavuuden ajantasaistuksessa ja lähes yhtä tarkka keskiläpimitan ja pohjapinta-alan ajantasauksessa. Tilavuuden keskivirhe menetelmällä 1 oli 62 m³/ha (34 %) ja menetelmällä 2 57 m³/ha (30 %). Menetelmän 1 keskimääräinen tuottavuus oli 56,5 ha/h ja menetelmän 2 83,8 ha/h. Menetelmä 2 oli tarkkuudeltaan alueella suoritettujen kuvioittaisen arvioinnin arvoinen, mutta tuottavuudeltaan 20-kertainen. Ratkaisematta jäi vielä monia ongelmia, kuten vanhan inventointitiedon laadun vaihtelun vaikutus ajantasaistuksen luotettavuuteen sekä toimenpide-ehdotusten sekä toimenpide-ehdotusten tuottaminen. (Anttila 2002)

4.1.1.3 Kaukokartoitusmenetelmät, kasvillisuuden tyypittely ja kuviokoko kasvillisuuskartoituksissa

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

Selvityksessä on käsitelty väärävärικuvien ja satelliittikuvien käyttöä kasvillisuuskartoituksissa, erilaisten tyyppittelyjen välisiä eroja sekä kartoitettavien kuvioiden optimikokoa. Lisäksi on esitetty ehdotus ilmavalokuvien avulla tehtävän kasvillisuuskartoituksen toimintamallista.

Väärävärικuvien käyttöä tutkittiin väärävärικuvien, ennakkokuviointikarttojen ja kasvillisuuskarttojen avulla. Vertailemalla kasvillisuuskarttaa ja väärävärικuvia toisiinsa pyrittiin etsimään väärävärικuvista näkyviä tulkinta-avaimia, joiden avulla kasvillisuustyyppit voitiin erottaa toisistaan. Väärävärικuvissa erottuvien kuvioiden ja kasvillisuuskartan kuvioiden vastaavuutta verrattiin asettamalla ennakkokuviointikartta ja lopullinen kasvillisuuskartta päällekkäin. Lähempi tarkastelu tapahtui 16 koeruudulta. Jokaista koeruudulle osuvaa kasvillisuuskartan kuviota verrattiin ennakkokuviointiin ja kuviot pisteytettiin ennakkokuvioinnin oikeellisuuden mukaan.

Satelliittikuvien käyttömahdollisuuksia metsä- ja suotyyppitason kasvillisuuskartoituksissa tarkasteltiin satelliittikuvien, ennakkokuviointikarttojen ja kasvillisuuskarttojen avulla. Kasvillisuustyyppien yleistä havaittavuutta satelliittikuvista arvioitiin vertailemalla satelliittikuvia ja kasvillisuuskarttoja keskenään. Vertailun tarkoituksena oli selvittää, eroavatko eri kasvillisuustyyppit toisistaan esim. värisävyjen ja kuvarakenteen perusteella. Satelliittikuvien käyttömahdollisuuksia metsä- ja suotyyppien kuvioinnissa tarkasteltiin 16 koeruudulta käyttäen apuna ennakkokuviointikarttaa ja kasvillisuuskarttaa. Kartat asetettiin päällekkäin ja kasvillisuuskartan kuviot pisteytettiin.

Väärävärικuvat osoittautuivat hyviksi apuvälineiksi kasvillisuuskartoituksia tehtäessä. Ne auttoivat esiselvityksen tekemisessä alueesta ja kuviorajojen piirtämisessä maastossa. Kasvillisuustyyppien tunnistaminen suoraan väärävärικuvista oli vaikeaa. Satelliittikuvat eivät pystyneet toistamaan pienipiirteistä kasvillisuutta riittävän tarkasti, jotta niistä olisi ollut hyötyä käytännön kartoitustyössä. (Kotiluoto & Toivonen 1997)

4.1.1.4 Väri-infrakuvien käyttö kunnostusojituksen päätöksenteossa

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida tavanomaisessa yksityismetsien suunnittelussa käytettävien väri-infrakuvien käyttökelpoisuutta kunnostusojituksen kohdevalinnan tukena. Pääpaino oli karujen rämeiden kunnostusojitustarpeen arvioinnissa kasvupaikka, oijen kuntoa ja puustoa kuvaavien muuttujien avulla. yhtenä tavoitteena oli selvittää, voidaanko metsänkasvatuskelvottomat kohteet

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

tunnistaa ilmakuvista ruskorahkasammaleisuuden perusteella. Lisäksi tutkittiin mahdollisten muiden tyyppikasvien ja suotyyppien lisämääreiden näkyvyyttä väri-infrakuvissa.

Ennen kuvatulkinntaa käytiin tutkittavien maastokohteiden läheisyydessä tarkistamassa kuvien sävyarvojen sekä maastotietojen välisiä yhteyksiä. Kaksi metsäsuunnittelijaa teki ennakkokuvioinnin ja ilmakuvatulkinnan. Kuvioittaisen arvioinnin ohella tehtiin pistearviointeja kuvioiden sisällä ja niiden ulkopuolella yksittäisten kasvupaikkaa kuvaavien indikaattorikasvien ja suotyyppien lisämääreiden sävyarvojen määrittämiseksi. Ilmakuvilta ja myöhemmin maastossa arvioitiin kasvupaikkatunnukset ja puustotunnukset. Ojien kunnon osalta arvioitiin niiden toimivuus. Lisäksi kuivilta ja maastossa arvioitiin kuviokohtaiset toimenpide-ehdotukset metsäojien kunnostuksen sekä puuston käsittelyn osalta.

Ruskorahkasammal näkyi väri-infrakuvissa punaruskeana sävynä. Ojiin ja suolle kertyneet muut rahkasammaleet näkyivät keltavalkeana sävynä. Yksittäisten suotyyppien arviointi ilmakuvilta ei ollut helppoa eikä se aina osunut oikeaan. Tukkeutuneet huonovetoiset ojat näkyivät kuvissa enää ojalinjan perusteella. Uudehkot ojat näkyivät kuvissa selvästi. Lisäksi uusien ojien varrella olevat kaivumaat erottuivat hyvin. Latvuspeittävydestä johtuen ojine toimivuuden arviointi ei aina ilmakuvilta onnistunut. Metsikön puulajisuhdearviot täsmäsivät kohtalaisen hyvin.

Tässä tutkimuksessa väri-infrakuvien perusteella oli mahdollista havaita vähäpuustoiset, rahkamättäiset huonon boniteetin omaavat vanhat ojitusalueet. Väri-infrakuvien käytöllä voidaan vähentää maastokäyntejä ja aikaan saada kustannussäästöjä, samalla kun metsänparannusrahoitusta voidaan suunnata karuilta rämeiltä tärkeisiin, hyväpuustoisiin kunnostusohjelmakohteisiin. (Lauhanen 1995)

4.1.1.5 NOAA- lämpösatelliittikuvat metsämaan käytön suunnittelussa

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida NOAA- lämpösatelliittikuvien avulla Oulun ja Haapaveden alueiden ilmasto-oloja sekä selvittää esimerkkitapausten valossa kuvien käyttömahdollisuuksia metsätalouden suunnittelussa. Tutkimushypoteesin oli, että vesi varastoi lämpöä, jolloin viileät alueet näkyvät satelliittikuvissa sinisinä ja lämpimät alueet punaisina. Satelliittikuvien antamia sävyarvoja verrattiin visuaalisesti käytössä olevaan peruskarttamateriaaliin, jonka perusteella

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

tehtiin johtopäätöksiä lämpökuvien antamasta informaatiosta ja käyttömahdollisuuksista metsäsuunnittelussa ja metsätalouden ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Tässä tutkimuksessa käytettiin satelliitin termisen kanavan 4 kuvaamaa aineistoa. Tulokset perustuivat lämpösatelliittikuvan ja peruskartan visuaaliseen vertailuun. Laaja luonnontilainen suoalue näkyi ympärillä olevia ojitettuja suoalueita lämpimämpänä alueena. Myös laajat, karut ja ojitetut nevat näkyivät kuvissa sinisinä eli paikallisilmastoltaan viileinä alueina. Yhtenä tekijänä ojitettujen soiden viileyteen saattoi olla ojituksesta johtuva suon kuivuminen eli lämpöä varastoivan vesivaraston väheneminen.

NOAA- satelliittikuvien ja maaston korkeusmallien avulla voidaan tarkastella sitä, miten maaston topografia vaikuttaa paikallisiin lämpöoloihin. Tällöin kyettäneen täsmällisemmin ennalta paikantamaan esim. kuusen istutukseen soveltumattomat hallanarat metsänuudistamisalueet tai pellonmetsityskohteet. (Pietiläinen ym. 1998)

4.1.1.6 Monilähteisen inventoinnin tehostaminen tietolähteitä painottamalla

Seloste artikkelista: Tuominen, S. & Poso, S. 2001. Improving multisource forest inventory by weighting auxiliary data sources. Silva Fennica 35 (2): 203-214.

Kaksivaiheinen koelaotanta yhdessä kaukokuvatiedon ja muiden apulähteiden kanssa tarjoaa vaihtoehdon perinteiselle silmävaraiselle kuvioittaiselle arvioinnille alueellisessa metsäsuunnittelussa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli etsiä tehokkaita menetelmiä eri aputietolähteiden yhteiskäyttöön koealakohtaisten metsikkötunnusten estimoimisessa.

Tutkimusaineistona käytettiin koeala-aineistoa kahdelta tutkimusalueelta, joissa mitattiin vaihtuvästeisiä ympyräkoealoja. Aputietoina käytettiin kummallakin tutkimusalueella seuraavanlaisia tietolähteistä:

1. Landsat TM- satelliittikuva v. 1995
2. IRS-1C pankromaattinen satelliittikuva v. 1996
3. Digitoitu vääräväri-ilmakuva v. 1995/1997
4. Visuaalisesti tulkittu ilmakuva v. 1995/1997
5. Vanha kuvioittainen suunnittelutieto

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

6. Erotuskuva TM-kuva vuodelta 1995 - TM-kuva v. 1989

7. Erotuskuva IRS-1C v.1996 pankromaattinen - TM v.1995 kanavat 2&3

Metsikkötunnusten estimoinnissa koealoille käytettiin k:n lähimmän naapurin menetelmää.

Koealakohtaisten metsikkötunnusten estimoinnissa käytettiin seitsemää vaihtoehtoista estimaattoria:

- A) Estimaatit lasketaan itsenäisesti kullakin aputiedolla
- B) Estimaatit lasketaan estimaattorin A tuottamien estimaattien aritmeettisina keskiarvoina
- C) Estimaatit lasketaan estimaattorin A tuottamien estimaattien painotettuina keskiarvoina
- D) Sama kuin estimaattori C, mutta painot lasketaan muuttujakohtaisesti
- E) Estimaatit lasketaan painottamalla k-lähintä naapuria siten, että piirreavaruudessa lähimpänä estimoitavaa koealaa oleva saa enemmän painoa
- F) Erotuskuva IRS96-TM95 käytetään todennäköisen muutoksen kohteeksi joutuneiden koealojen hakemisessa
- G) Kuviorajojen ympärille muodostetaan 20 metrin levyinen vyöhyke, jonne osuvat koealat poistetaan sekä estimoitavien että referenssikoealojen joukosta. Vyöhykkeellä oleville koealoille lasketaan estimaatit kuvion sisäosassa olevien koealojen estimaateista.

Yksittäisistä aputietolähteistä parhaiksi estimaattien tarkkuuden suhteen osoittautuivat visuaalisesti tulkittu ilmakeku sekä vanha kuvioittainen arvioitu suunnittelutieto. Seuraavana näiden jälkeen oli numeerinen ilmakekuvatieo, joka oli selvästi parempaa eri satelliittikuviin verrattuna. Estimaattorilla B saavutettiin parempi estimointitarkkuus kuin millään aputiedolla yksinään. Estimaattoreista aputietolähteiden painottaminen niiden MSE:n käänteisarvoilla (C ja D) paransi estimaattien tarkkuutta edelleen. (Tuominen & Poso 2001)

4.2 Numeerinen tulkinta

4.2.1 Metsikkötasolla

4.2.1.1 Kuvioittaisten puustotunnusten ja toimenpide-ehdotusten estimointi k-lähimmän naapurin menetelmällä Landsat TM-satelliittikuvan, vanhan inventointitiedon ja kuviotason tukiaineiston avulla

Tutkimuksessa tarkasteltiin Landsat TM- satelliittikuvan käyttökelpoisuutta puustotietojen sekä toimenpide-ehdotusten estimoimiseksi metsikkökuvioille ja segmenteille ei-parametrisella k-lähimmän naapurin menetelmällä (knn). Satelliittikuvan informaation ohella estimoinnissa

hyödynnettiin vanhan inventoinnin mukaisia puustotietoja. Tutkimuksessa vertailtiin myös satelliittikuvan sävyarvoista eri tavoin laskettujen keskiarvojen tehokkuutta estimoinnissa.

Taulukko 1. Toimenpiteiden estimointi

Toimenpiteiden virhematriisi, koko aineisto	Oikeinluokitus%	Kappa-arvo
Hakkuuehdotukset	45,1	0,28
Hakkuuehdotukset, yhd. luokat	57,6	0,35
Hoitotoimenpiteet	71,2	0,36

Käytetyn Landsat TM- satelliittikuvan tarkkuus ei riittänyt luotettavien kuviotason tietojen tuottamiseen. Vaikka estimaattien virheet tarkistusmittauskuvioilla olivat esim. puuston keskitilavuuden ja –pituuden osalta lähellä kuvioittaisen arvioinnin virheitä, voidaan etenkin puulajeittaisten tunnusten estimaatteja pitää liian epätarkkoina. Silti satelliittikuva on varteenotettava vaihtoehto tuottaessa tietoa välialueille, vaikeakulkuisille alueille tai jos halutaan vain karkeita tietoja isommasta suunnittelualueesta. (Hyvönen 2002)

4.2.1.2 Kuvioittaisten puustotunnusten estimointi ilmakuvilta puoliautomaattisella latvusten segmentoinnilla

Tutkimuksessa selvitettiin yksittäisten latvusten segmentointiin ilmakuvulta perustuvan puustotunnusten arviointimenetelmän tarkkuus. Puuston arviointiin kehitetty tietokoneohjelma (Arboreal Forest Inventory Tools) rajaa latvukset puoliautomaattisesti, minkä jälkeen se laskee puustotunnukset malliketjulla. Puun rinnankorkeusläpimitta ennustettiin latvusalan perusteella, pituus rinnankorkeusläpimitan perusteella ja tilavuus rinnankorkeusläpimitan ja pituuden perusteella. Metsikkötunnukset saatiin kuvion kaikkien segmentoitujen puiden keskiarvoina ja summoina. Ohjelmassa oli myös opetettava puulajintunnistusalgoritmi.

Runkoluvun, pohjapinta-alan ja tilavuuden estimaatit olivat reiluja aliarvioita, mikä johtui osittain siitä, että aineistossa oli useita puuston tilavuudeltaan erittäin suuria kuvioita. Menetelmä osoittautui jatkotutkimuksen arvoiseksi, vaikka menetelmän tarkkuus ei tämän tutkimuksen

perusteella riitäkään metsäsuunnittelussa tarvittavien lähtötietojen tuottamiseen. (Anttila & Lehikoinen 2002)

4.2.1.3 Segmentointimenetelmien käyttökelpoisuus ennakkokuvioinnissa

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää automaattisten ja puoliautomaattisten kuviointimenetelmien käyttökelpoisuutta ennakkokuvioinnissa. Tutkimuksessa vertailtiin visuaalisella kuvatulkinnalla, puoliautomaattisella menetelmällä ja kolmella eri segmentointiohjelmalla automaattisesti tuotettuja kuviointeja. Käytetyt segmentointiohjelmat olivat:

1. Helsingin yliopistolla kehitetty automaattinen Winseg32 segmentointiohjelma
2. Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetty automaattinen segmentointiohjelma
3. Oy Arbonaut Ltd:n kehittämä puoliautomaattinen Stand Delineation Tool-segmentointiohjelma

Tutkimusalueelle tehtiin viisi erilaista kuviointia:

1. Winseg32- ohjelmalla automaattisesti tuotettu kuviointi
2. Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä ohjelmalla automaattisesti tuotettu kuviointi
3. Stand Delineation Tool- ohjelmalla automaattisesti tuotettu kuviointi
4. Metsäsuunnittelijan visuaalisella tulkinnalla tekemä kuviointi Xforestilla kuvaruutudigitointina
5. Metsäsuunnittelijan puoliautomaattisesti SDT-ohjelmalla tekemä kuviointi

Kuviointeja vertailtaessa puustotunnusten homogeenisuutta vertailtiin varianssianalyysillä ja kuviorajojen sijaintitarkkuutta puskurivyöhykemenetelmällä. Automaattisesti tuotettujen kuviorajojen kelvollisuuden määrittämiseksi metsäsuunnittelija valitsi eri segmentointiohjelmilla automaattisesti tuotetuista kuvioinneista mielestään kelvolliset kuviorajat ortoilmakuvan ja peruskartan avulla.

Puustotunnusten homogeenisuuden tarkastelussa visuaalinen ja puoliautomaattinen tulkinta osoittautuivat yhtä hyväksi menetelmiksi. Puoliautomaattisessa menetelmässä segmentointiohjelman tuottamia kuviorajoja jätettiin ennakkokuviointiin visuaalista tulkintaa enemmän. Kuviorajojen sijaintitarkkuus oli paras visuaalisessa tulkinnassa. Automaattiset

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

menetelmät eivät tuota lopullista kuviointia, vaan visuaalinen tarkistus ja maastotarkistus ovat tarpeen. (Sell 2002)

4.2.1.4 Eriaikaiset ilmakuvat metsäkuvioiden muutosten tunnistamisessa

Tutkimuksessa on esitetty menetelmä erotuskuvatekniikan soveltamisesta numeerisille ilmakuville sekä testattu menetelmän luotettavuus metsässä tapahtuneiden muutosten tunnistamiseksi.

Erotuskuvatekniikka perustuu kahden tai useamman ajankohdan kuvien tulkintaan. Menetelmän periaatteena on tarkastella kahden eri ajankohdan kuvien välisiä erotusarvoja. Useimmiten vanhemman ajankohdan kuva kalibroidaan radiometrisesti vertailukelpoiseksi uudemman kuvan kanssa. Kun asetetaan vanha kuviokartta paikkatietojärjestelmän avulla erotuskuvan päälle, voidaan muuttuneet metsäkuviot tunnistaa ja rajata muuttuneet kuvionrajat digitoimalla. Vertaamalla tunnistettuja muutosalueita kuviotietoihin saadaan selville kuviot, joilla päivitys on jäänyt tekemättä tai epäonnistunut. Moniaikaisessa kuvatulkinnassa tärkeää on myös kuvien onnistunut kalibrointi, joka voidaan jakaa kolmeen osavaiheeseen:

1. kuvan sisäinen sävyarvojen korjaus
2. saman ajankohdan vierekkäisen kuvien kalibrointi
3. eri ajankohtien kuvien kalibrointi

Tässä tutkimuksessa sovellettiin kuvamuunnoksia kuvan sisäiseen sävyarvojen korjaukseen. Kuvatulkinnan perustaksi otettiin kanavasuhteet alkuperäisten RGB-kanavien sijasta (1.). Vierekkäisten kuvien välillä olevat erot korjattiin sävyarvohistogrammien soveltamisella (nk. histogram matching- tekniikka). Molempien kuvausvuosien kuvista yksi valittiin mosaiikin pohjakuvaksi, jonka sävyarvojakaumaan muut kuvat kalibroidiin (2.). Aineiston muuttumattomista kuvioista valittiin satunnaisesti sata kalibrointikuvioita. Kuvioille sijoitettiin 20 metrin säteinen ympyrä ja ympyrän alalle sattuneiden pikseleiden sävyarvoista laskettiin keskiarvo. Keskiarvojen avulla muodostettiin regressiomallit (3).

Tulosten mukaan menetelmällä on luotettavasti tulkittavissa esim. maanmuokkaukset ja päätehakkuut. Tehty tutkimus osoittaa, että esitetty menetelmä on jatkokehityksen arvoinen, mutta ei vielä valmis työväline kuviotietojen päivitykseen ja kuviotietokannan ylläpitoon. Erityisesti harvennusten tulkinnan luotettavuuden lisäämiseen tulee panostaa jatkokehityksessä. (Hyppänen 1999)

4.2.1.5 Satelliittikuva-avusteinen metsien kasvupaikkaluokitus metsäverotusta varten

Tutkimuksessa kehitettiin kaksi operatiivista, satelliittikuviin perustuvaa metsien kasvupaikkojen luokitusmenetelmää metsien veroluokitusta varten. Tähän tarkoitukseen kehitettiin aluksi kaksi kuvanalkioittaista luokitusmenetelmää sekä vertailtiin niiden ominaisuuksia erilaisilla maastotukialue- ja kuva-aineistoilla.

Kuvanalkioittaiset menetelmät ovat yleistettyihin neliöetäisyyksiin perustuva erotteluanalyysi ja logistinen regressioanalyysi. Kuvanalkioittaisten menetelmien tuloksia parantamaan kehitettiin kaksi luokitustuloksien jälkikäsittelemistä, metsikkökuviointiin perustuva moodisuodatus kuvioiden sisällä sekä Markovin kenttä-tyyppiseen kuvanalkioiden riippuvuuteen perustuva menetelmä. Metsikkökuviointi saatiin joko käyttämällä satelliittikuvien segmentointimenetelmiä tai tunnettuja kuvioiden rajoja ja digitointia. Maaston korkeusvaihtelun aiheuttaman kuvan intensiteettien vaihtelun poistamiseksi testattiin maaston digitaalisesta korkeusmallista johdettuja muuttujia. Luokitusalgoritmin piirteinä käytettiin intensiteettien kanonisia muuttujia. Lisäksi testattiin tekstuurimuuttujista johdettuja piirteitä. Kaikki menetelmät testattiin käyttämällä riippumattomia vertailuaineistoja.

Operatiivisten menetelmien tuoman hyödyn arvioimiseksi tehtiin menetelmien kenttätetit kustannus-hyöty-analyysineen. Arvioidut kustannussäästöt kasvupaikkojen veroluokituksessa vaihtelivat 14 %:sta 35 %:iin riippuen luokiteltavan alueen kasvupaikkajakaumasta. Jos maastotarkistus jätettäisiin kokonaan tekemättä, luokitustarkkuus olisi tilatasolla perinteisten menetelmien luokkaa, mutta kenttätöiden kustannussäästöt n. 60 %. (Tomppo 1992)

4.2.1.6 Metsävauriutilanteen kartoitus Itä-Lapissa ja Länsi-Kuolassa maastohavaintojen ja kaukokartoituksen avulla

Itä-Lapissa tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin metsien terveydentilan selvittäminen satelliittikuvan ja systemaattisten maastonäytteiden avulla. Siellä käytettiin luokiteltua otantaa, missä luokkien pinta-alat lasketaan satelliittikuvilta ja tuhojen esiintyminen luokissa arvioidaan maastonäytteestä. Kuva luokitettiin ohjattua luokitusmenetelmää käyttäen. Tavanomaiset metsätuhot eivät erotu satelliittikuvilta, joten kuvaluokkien määrittelyssä ei käytetty tuhomuuttujia. Lopullisina tuloksina saatiin erilaisen metsätuhojen pinta-alat jaettuna kahteen vaikeusasteeseen sekä kokonaistuhoalan arvion keskivirhe.

Montsegorskin alueella tavoitteiksi asetettiin tuhotilanteen ja sen muutoksien kartoitus satelliittikuvien avulla. Alueelta ei ollut riittävästä maastonäytettä, joten kuvaluokitukset oli tehtävä ohjaamatonta luokitusta käyttäen. Kuvien tulkinta perustui pääasiassa päättelyyn, jonka tukena käytettiin topografia- ja tuulitietoja Kuolasta peräisin olevaa rikkidioksidin leviämismallia. Tuhotilannetta 1980-luvun puolivälissä arvioitiin viiden muutoskanavakuvan ja yhden luokituskuvan avulla. Tuhotilanteen kehitystä 1978-1989 selvitettiin vertaamalla neljää eriaikaista satelliittikuvaa.

Tavanomaisten metsäsairauksien suora kartoitus satelliittikuvilta on vaikea tehtävä, jossa ei yleensä onnistuta käytännössä. Länsi-Kuolassa on metalliteollisuuden aiheuttamia metsätuhoalueita, jotka erottuvat hyvin myös satelliittikuvilta. Itä-Lapin tutkimusmenetelmät eivät olleet optimaalisia. Maastotöiden painopisteen olisi pitänyt olla tarkistusnäytteessä ja näytteen olisi pitänyt olla täysin systemaattinen. Luokitusavaimien kehittäminen oli liian minimutkainen prosessi. Synteettisten kanavien käyttö ei antanut merkittävää etua. Alkuperäisten kanava-arvojen korjaaminen mm. topografian suhteen olisi voinut lisätä luokitustarkkuutta. Tutkimuksesta saatiin kuitenkin käyttökelpoisia tuloksia ja niitä voitiin visualisoida satelliittikuvan ansiosta.

Länsi-Kuolassa tehty kartoitus tuotti käyttökelpoisia tuloksia. Pilvisyyden ja lyhyen kesän johdosta käyttökelpoisia kuvia oli vähän. Kuvien tulkinta oli vaikeata rajallisen maastohavaintoaineiston vuoksi. Digitaalisia aputietoja ei juuri ollut saatavilla. Kanava-arvojen korjaaminen digitaalisella maastomallilla olisi ehkä edistänyt kartoitusta. Satelliittikuvainformaation monipuolisuus ja suuret visualisointimahdollisuudet auttoivat kuvien tulkinnassa paljon. (Mattila 1997)

4.2.1.7 Satelliittikuvainventoinnin puuston tilavuusestimaattien luotettavuus tilatasolla

Tutkimuksessa tarkasteltiin satelliittikuva-arvioinnin luotettavuutta aluekohtaisesti metsälötason puuston inventoinnissa. Inventointitulosten tarkentamiseksi tutkittiin veroluokitusaineiston liittämistä satelliittikuvatulkintaan siten, että tutkimusaineisto ositettiin ennen varsinaista laskentaa veroluokkien mukaisiin ositteisiin ja inventointitulokset laskettiin veroluokittain. Tavoitteena oli arvioida monilähdeaineistoon ja satelliittikuvatulkintaan perustuvan menetelmän luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta metsälötason puulajeittaisessa puuston inventoinnissa. Monilähdeaineisto koostui valtakunnan metsien inventointituloksista, satelliittikuvasta sekä veroluokituskartoista. Tutkimuksessa tarkastellaan referenssikoealamenetelmään perustuvan satelliittikuvatulkinnan luotettavuutta aluekohtaisesti metsälötason inventoinnissa verrattuna kuvioittaiseen arviointiin.

Referenssikoealamenetelmässä maastokoetiedot yleistetään inventoitavalle alueelle satelliittikuvan sävyarvojen ja etäisyysfunktion avulla. Inventoitavan alueen pikseleille haetaan sävyarvojen perusteella niitä parhaiten vastaavat maastokoealat tai maastokoealojen yhdistelmät. Menetelmällä voidaan estimoida samanaikaisesti kaikki ne muuttujat, jotka maastokoealalla on mitattu. Satelliittikuva-arvioinnin estimaattien luotettavuutta tutkittiin tilastollisia tunnuslukuja vertailemalla.

Puulajeittaisten tilavuusestimaattien osalta satelliittikuva-arvioinnin tarkkuus ei näyttäisi riittävän tilatasolle, varsinkin jos on kyseessä yksipuolinen aineisto, kuten tässä tutkimuksessa. Kuusen tilavuusestimaatit olivat odotetusti parempia kuin muiden puulajien, mutta 14,5 % keskivirheeseen päästiin kuitenkin vasta 150 ha:n inventointialueella. Männyn ja lehtipuun tilavuusestimaattien keskivirheet olivat vielä 300 ha:n inventointialueellakin 33,6 % ja 21,9 %. Satelliittikuvien käyttömahdollisuuksia pienipiirteisessä metsätaloudessa heikentää kuvien huono spatiaalinen erotuskyky. Lisäksi metsikön sulkeutumisen jälkeen sen heijastamat sävyarvot muuttuvat varsin vähän, mikä aiheuttaa ongelmia puuston runkotilavuuden ennustamiselle. Tässä tutkimuksessa tarkasteltu menetelmä soveltuu hyvin käytettäväksi suurempien metsälöiden (yli 100 ha) ja metsäalueiden (valtio, kunnat, metsäyhtiöt) inventointiin. (Tokola & Heikkilä 1995)

4.2.1.8 Kuvan segmentointi metsien monilähteisen inventoinnin työkaluna

Tutkimus (väitöskirja) koostuu neljästä osajulkaisusta. *Ensimmäisessä* osajulkaisussa tutkitaan eri tavalla tuotettujen spektristen piirteiden vaikutusta tilavuuden estimointiin VMI- maastoaineiston, Landsat TM- satelliittikuvan ja k:n lähimmän naapurin estimointimenetelmän avulla. *Toisessa*

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

osajulkaisussa esiteltiin uusi segmentointimenetelmä erittäin korkean erotuskyvyn kaukokartoituskuville. Menetelmän soveltuvuutta puustotunnusten estimointiin testattiin koealatasolla lentokonekäyttöisen kuvaavan spektrometrin kuvamosaiikin ja k: lähimmän naapurin estimointimenetelmän avulla. *Kolmannessa* osajulkaisussa tutkittiin kuvan segmentoinnin avulla tuotettujen spektristen piirteiden soveltuvuutta puuston tilavuuden estimointiin koealatasolla, jossa estimointimenetelmänä oli k:n lähimmän naapurin menetelmä. *Neljännessä* osajulkaisussa tutkittiin mahdollisuuksia osittaa inventoitava metsäalue digitoitujen väärävärικuvien, kuvan segmentoinnin ja ohjaamattoman luokituksen avulla. Digitoitu ilmakuvamosaiikki segmentoitiin ositusta varten kaksivaiheisella menetelmällä, jossa initiaalsegmentit tuotettiin kolmannessa osajulkaisussa kuvatulla algoritmilla ja yhdisteltiin tämän jälkeen osituksessa käyttökelpoisiksi alueiksi lähimmän naapurin (NN) menetelmällä.

Osajulkaisuissa kuvatut segmentointimenetelmät soveltuvat hyvin monilähteisen inventoinnin työkaluiksi. Esitetyistä menetelmistä käyttökelpoisimpia ovat kaksivaiheiset menetelmät, joissa ensimmäisen vaiheen segmentit tuotetaan kolmannessa osajulkaisussa tuotetulla tavalla ja yhdistellään lopullisiksi alueiksi joko t-suhteeseen tai spektriseen etäisyyteen pohjautuvilla menetelmillä. (Pekkarinen 2002)

4.2.1.9 Erittäin korkean erotuskyvyn satelliittikuvien käyttö kuvantulkintatuloksen parantamiseksi

Tutkimuksen tavoitteena oli parantaa kuvantulkinnan luotettavuutta metsikkökuvioitasolla metsävarojen arvioinnissa käyttäen hyväksi satelliittikuville laskettavia spektrisiä tunnuksia ja tekstuuritunnuksia.

Kvantulkinnassa käytettävien kuvatunnusten löytämiseksi käytettiin regressioanalyysiä. Selitettävänä muuttujina olivat: puuston ikä, kokonaistilavuus, keskipituus, keskiläpimitta, pohjapinta-ala ja runkoluku. Regressioanalyysissä pyrittiin löytämään se yhdistelmä Landsat TM-kanavista sekä teksturi- ja maisematunnuksista, jotka yhdessä tuottaisivat parhaan estimointituloksen. Kvantulkinnan ensimmäisessä vaiheessa Landsat TM- kuva luokiteltiin ohjaamatonta luokitusta käyttäen. Toisessa vaiheessa ensimmäisen vaiheen luokituksessa muodostuneet luokat jaettiin aliluokkiin Ikonos-kuvista laskettuja tekstuuritunnuksia käyttäen. Muodostuneille aliluokille poimittiin maastoaineistosta mallin opetuksessa käytettävät

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

metsikkötunnukset. Lopulliset estimaatit metsikkömuuttujille laskettiin kullekin kuvanalkiolle painotettuna summana kaikkien aliluokkien metsikkömuuttujien arvoista.

Tutkimus osoitti, että tekstuuri ja maisematunnusten käyttö parantaa kuvantulkinnan tulosta metsikkökuviotasolla jonkin verran verrattuna pelkästään Landsat TM- kuvan avulla tehtyyn tulkintaan. Erittäin korkean resoluution aineistojen hyödyntäminen kuvatulkinnessa vaatii kuitenkin edelleen kehittämistä.

(Lohi 2002)

4.2.2 Puutasolla

4.2.2.1 Yksittäisen puun numeerinen ilmakuvatulkintamenetelmä

Menetelmässä projisoidaan maastossa mitattujen puiden latvuksia digitoidun ilmakuvan koordinaatistoon. Menetelmä jakautuu tarvittavan tietoaineiston keruuseen sekä tietosysteemiin eli ohjelmistoon. Tietoaineisto koostuu ilmakuva- ja maastotiedosta. Tietosysteemiä apuna käyttäen saadaan tulostuksena yhdistetty tieto siitä, millaiset digitoidun ilmakuvan sävyarvot vastaavat maastossa mitatun puun latvusta.

Orientoinnilla tarkoitetaan maastokoordinaatiston ja kuvakoordinaatiston välisen muunnosfunktion selvittämistä. Tämä on toteutettu olettamalla maastopisteen kuvautuvan ilmakuvalla yksinkertaistetun mallin mukaan. Simuloinnilla tarkoitetaan ilmakuvalla näkyvän latvuspinnan muodon ja ominaisuuksien jäljittelyä maastossa mitatun tiedon perusteella. Simuloinnin kohdistuksessa simuloinnissa syntynyt vektorikartta latvusrajoista ja latvuksessa olevista valaistuksen rajoista tulostetaan ilmakuvan päällä. Sen jälkeen vektorikartta siirretään oikeaan kohtaan. Lopullinen tulostiedosto on puukohtainen pikselitieto. Kustakin puusta muodostuu tiedostoon lista, jossa on lueteltu kaikkien puun latvuksen eli vektorikartassa latvusrajan sisään osuneiden pikseleiden sävyarvot kanavittain. (Suvanto & Kiema 1991)

4.2.2.2 Yksittäisten puiden tunnistaminen numeerisilta ilmakuvilta

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää yksittäisen puun tunnistamista digitaalikamera-aineistolla suomalaisissa olosuhteissa. Ensimmäisenä kokeilualueena oli pehmennyksen, kynnystämisen ja paikallisten maksimikohtien haun yhdistäminen. Tutkimuksessa keskityttiin yksittäisten puiden tunnistamisen tarkkuuteen.

Maastoaineistona käytettiin puittaista aineistoa kolmelta koealalta, jotka jaettiin kahdeksaan kuvioon. Tutkimuksessa käytettiin neljää 0,5 m resoluutioon otettua kuvaa ja ne olivat normaalivärikuvia. Puiden latvojen huipun sijainnit laskettiin alkuperäiselle orto-oikaisun yhtälöiden avulla. Koealoista tehtiin maskit rajaamalla koealojen reunimmaisten puiden latvukset maskin sisään näytöltä digitoimalla. Koealojen kuvilta haettiin paikalliset maksimit, joita pidettiin puiden sijaintipaikkoina. Paikallisten maksimien määrää vähennettiin kuvan pehmennyksellä ja kynnystämällä. Kuvia pehmennettiin eri voimakkuuksilla Gaussin-suotimilla. Tulosten laskennassa paikallisten maksimien koordinaatteja verrattiin puiden koordinaatteihin. Jokaiselle maksimille haettiin lähimmät puut, ja maksimi ja lähin puu liitettiin pariaksi, jos etäisyys pikseleinä oli pienempi tai yhtäsuuri kuin raja-arvo. Menetelmiä arvioitiin pääasiassa tunnistettujen puiden osuuden ja kokonaistarkkuuden avulla. Kokonaistarkkuus laskettiin löydettyjen puiden suhteena kaikkien puiden ja ei-puumaksimien summaan.

Sekä puiden tunnistamisen kokonaistarkkuus että tunnistettujen puiden osuus vaihtelivat n. 50:stä 96:een prosenttiin. Tunnistettujen puiden osuus laski runkoluvun kasvaessa ja vastaavasti nousi keskiläpimitan suuretessa. Tunnistettujen puiden pohjapinta-alan osuus kaikkien puiden pohjapinta-alasta oli 69:stä 98:aan prosenttiin, eli myös kuvioiden sisällä suuret puut löytyivät paremmin kuin pienet. (Pitkänen 2000)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Metsätalouden suunnittelussa kaukokartoitus on ollut tärkeässä osassa ja tulee sitä kuvien ja tulkintamenetelmien parantuessa olemaan entistä tärkeämpi. Perinteinen analogisten kuvien visuaalinen tulkinta on hiljalleen väistymässä digitaalisten kuvien ja numeerisen kuvatulkinnan tieltä. Numeeristen kuvatulkintamenetelmien kehittyessä vanha visuaalinen tulkinta korvataan tietokonepohjaisella automatiikalla. Metsäsuunnittelussa kuvioiden muodostaminen tullaan tekemään numeeriselle kuvalle automaattisesti esim. segmentoinnin avulla ja ihmisen tehtäväksi

Katsaus kaukokartoituksen mahdollisuuksiin energiapuukohteiden kartoituksessa

jää arvioida tietokoneen työn jälki eli tekikö tietokoneen segmentointiohjelma mahdollisesti kuvioinnin sopivalla tavalla. Tässä tarvitaan edelleen visuaalista tulkintaa eli on vaikea kuvitella, että tämä ihmisen tekemä kuvatulkinta koskaan täysin loppuisi. Digitaalisten kaukokartoitusaineistoihin ja numeerisen kuvatulkintaan liittyvä tutkimustyö on vielä suhteellisen nuorta, jotta tämän aihepiirin kaikkia todellisia mahdollisuuksia ole tarjolla käytännön metsätalouteen.

LÄHTEET

- Anttila, P. 2002. Kuvioittaisten puustotietojen ajantasaistus kasvumallein ja visuaalisella ilmakuvatulkinnalla. Tutkimuslauseita, Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 541-542.
- Anttila, P. & Lehtikoinen, M. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten estimointi ilmakuvilta puoliautomaattisella latvusten segmentoinnilla. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 381-389.
- Auvinen, P., Pukkala, T. & Vesa, L. 1997. Metsän kartoitus. Hakapaino Oy, Helsinki.
- Hyppänen, H. 1999. Eriaikaiset ilmakuvat metsäkuvioiden muutosten tunnistamisessa. Metsätieteen aikakauskirja 2/1999: 155-166.
- Hyvönen, P. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten ja toimenpide-ehdotusten estimointi k-lähimmän naapurin menetelmällä Landsat TM- satelliittikuvan, vanhan inventointitiedon ja kuviotason tukiaineiston avulla. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 363-379.
- Kangas, A., Päivinen R., Holopainen M., & Maltamo, M. 2003. Metsän mittaus ja kartoitus. Silva Carelica 40. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta.
- Kotiluoto, R. & Toivonen, H. 1997. Kaukokartoitusmenetelmät, kasvillisuuden tyyppittely ja kuviokoko kasvillisuuskartoituksissa. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A No 82.
- Lauhanen, R. 1995. Väri-infrakuvien käyttö kunnostusohjituksen päätöksenteossa. Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570: 56-60.
- Lohi, Anssi. 2002. Erittäin korkean erotuskyvyn satelliittikuvien käyttö kuvantulkintatuloksen parantamiseksi. Metsät paikkatietojärjestelmissä- tutkijakoulu 1998-2002. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 30: 59-63.
- Mattila, E. 1997. Metsävauriutilanteen kartoitus Itä-Lapissa ja Länsi-Kuolassa maastohavaintojen ja kaukokartoituksen avulla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 649.
- Pekkarinen, Anssi. 2002. Kuvan segmentointi metsien monilähteen inventoinnin työkaluna. Metsät paikkatietojärjestelmissä- tutkijakoulu 1998-2002. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 30: 51-57.
- Pietiläinen, P., Paarma, H., Lauhanen, R. & Hyvönen, E. 1998. NOAA- lämpösatelliittikuvat metsämaan käytön suunnittelussa. Metsäntutkimuspäivä Pyhäsalalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 674: 39-48.
- Pitkänen, Juho. 2000. Yksittäisten puiden tunnistaminen numeerisilta ilmakuvilta. PUISEVA - Puuteknologian ja - talouden opetuksen ja tutkimuksen kehittäminen osana tietoyhteiskuntaa. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 96: 62-73.
- Sell, R. 2002. Segmentointimenetelmien käyttökelpoisuus ennakkokuvioinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 499-507.

- Suvanto, R. & Kiema, P. 1991. Yksittäisen puun numeerinen ilmakuvatulkintamenetelmä. Elektroniikka metsänarvioinnissa. Metsän kasvu ja sen mallittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 384: 27-31.
- Tiihonen, P. & Virtanen, J. 1983. Koetuloksia ilmakuvien käyttömahdollisuuksista energiapuun arvioinnissa Pohjanmaalla ja Pohjois-Savossa v. 1980-82. Folia Forestalia 567:1-18.
- Tokola, T. & Heikkilä, J. 1995. Satelliittikuvainventoinnin puuston tilavuusestimaattien luotettavuus tilatasolla. Metsien eri käyttömuodot yhdistävä suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 568: 23-35.
- Tokola, T., Hyppänen, H., Miina, S., Vesa, L. & Anttila, P. 1998. Metsän kaukokartoitus. Silva Carelica 32. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta.
- Tomppo, E. 1992. Satellite image aided forest site fertility estimation for forest income taxation – Satelliittikuva-avusteinen metsien kasvupaikkaluokitus metsäverotusta varten. Acta Forestalia Fennica 229.
- Tuominen, S. & Poso, S. 2001. Monilähteisen inventoinnin tehostaminen tietolähteitä painottamalla. Tutkimusselesteita, Metsätieteen aikakauskirja 2/2001: 303-304.

DIGITAALINEN FOTOGRAMMETRINEN STEREOTYÖASEMA

1	Johdanto	2
2	Stereotyöasemalaitteisto	2
2.1	Aktiivinen järjestelmä	3
2.2	Passiivinen järjestelmä	4
3	Työskentelyolosuhteet	4
4	Ammattitaitovaatimukset	5
5	Työn tuottavuus	6
6	Johtopäätökset	7
7	EspaCity – digitaalinen fotogrammetrinen kartoitussovellus	9
7.1	Johdanto	9
7.2	Käyttöttestaus	9
7.3	Pohdintaa	11

1 Johdanto

Stereomittaus on kohteen kartoittamista stereomallilta. Mittaus suoritetaan erityisellä stereomittauslaitteella. Laitteet jaetaan analyyttisiin ja analogisiin sen perusteella, miten kohde- ja kuvakoordinaattien välinen muunnos toteutetaan. Analyyttisissä laitteissa muunnos lasketaan numeerisesti, kun taas analogisissa muunnokset toteutetaan mekaanisesti tai optisesti.

Tietotekniikan kehittymisen myötä analyyttiset mittauslaitteet ovat syrjäyttäneet analogiset laitteet. Nykyaikaisen stereokartoitusjärjestelmän ydin on digitaalinen fotogrammetrinen stereotyöasema. Sen perustana voidaan pitää sen kartoitussovellusta. Muina toimintoina voivat olla ilmakolmiointi- ja ortokuvantuotantovalmiudet. Stereotyöaseman perustana on tavanomainen PC tietokone, joka varustetaan stereotyöskentelyn vaatimilla komponenteilla ja oheislaitteilla.

2 Stereotyöasemalaitteisto

Digitaalisia stereotyöasemia on saatavilla useilta eri laitevalmistajilta. Nykyaikainen digitaalinen stereotyöasema koostuu Windows-käyttöjärjestelmällä varustetusta PC-tietokoneesta, johon on asennettuna erityinen stereokartoitusohjelmisto. Lisäksi tarvitaan riittävän kokoinen näyttömonitori 21"-24" tai monitoripari ja mielellään 3D-työskentelyyn suunniteltu, joko yhden- tai kahdenkäden 3D-hiiri. Jossain tapauksissa voi olla eduksi varustaa PC kahdella prosessorilla yhden sijaan. Prosessoritehoa ja muistikapasiteettia ei tarvita sen enempää kuin tavanomaisessa, raskaaseen ammattikäyttöön tarkoitetussa tietokoneessa on tänä päivänä. Prosessoriksi sopii Intel P4 tuoteperheen prosessori tai vastaava ja muistikapasiteetin määräksi 512 MB tai enemmän. Lisäksi tarvitaan erityinen stereonäytönohjainkortti, jonka avulla stereokuva voidaan siirtää tietokoneelta näytölle. Näyttö puolestaan varustetaan joko aktiivi- tai passiivikatselujärjestelmällä, joka mahdollistaa sen, että ihminen näkee kuvan kolmiulotteisena.

Käytännössä kaikkien laitteistovalmistajien laitteistot toimivat Windows-käyttöjärjestelmän päällä. Lisäksi saattaa olla tarpeen hankkia lisenssi jollekin CAD-pohjaiselle ohjelmistolle (esim. Microstation), jossa stereokuvilta saatavaa 3D-vektorimateriaalia voidaan tarkastella ja analysoida. Osa laitteistovalmistajien stereokuvaohjelmistoista ovat sellaisia, että ne sisältävät mahdollisuuden tarkastella tuloksia 3D-vektorimuodossa eikä erillistä CAD-ohjelmistoa silloin välttämättä tarvita.

Kyseessä on silloin pääosin kuvan katseluun painottunut ohjelmistokokonaisuus, jonka varsinaiset mittaus- ja analysointitoiminnot voivat olla varsin vaatimattomat.

Erilaisia toteutuskombinaatteja digitaaliselle stereotyöasemalle on saatavissa kymmeniä useammilta laitevalmistajilta. Järjestelmät poikkeavat toisistaan toiminnallisuutensa, automaatioasteensa sekä hintansa puolesta. Yleiskäyttöisillä systeemeillä voidaan suorittaa kaikki perinteiset fotogrammetriset tehtävät kuten kuvien orientointi, maanpinnanmallin muodostus, ortokuvien ja ortokuvamosaiikkien luominen sekä vektoritiedon keräys. Markkinoilla on myös saatavilla johonkin tiettyyn osa-alueeseen erikoistuneita järjestelmiä, joista ei löydy kaikkia tavanomaisimpia toimintoja mutta jotka saattavat olla omalla osa-alueellaan hyvinkin edistyksellisiä ja käyttökelpoisia.

Varsinainen stereotyöasemapaketti, jota laitteistovalmistajat toimittavat, sisältää yleisesti stereokuvaohjelmiston, joko aktiivijärjestelmän katselulasit ja infrapunalähtetimen tai passiivijärjestelmän polarisaatiopaneelin ja polaroidlasit sekä stereonäytönohjainkortin. Perushinnan päälle tulevat yleensä kustannukset 3D-hiirestä ja mahdollisista muista lisäosista/ohjelmistomoduuleista. Hintahaitari erilaisten toteutusten välillä on melkoisen suuri. Kevyet versiot ovat hinnaltaan luokkaa 5000-10000 €, yleiskäyttöiset järjestelmät 10000-25000 €, jopa enemmän. Lisäksi on huomioitava kustannukset, jotka tulevat PC-laitteistosta, näyttömonitorista/-monitoreista, Windows-käyttöjärjestelmästä ja mahdollisista muista ohjelmistolisensseistä, kuten CAD-ohjelmistosta. PC:n kustannukset ovat kokoonpanosta riippuen luokkaa 5000-10000 €.

2.1 Aktiivinen järjestelmä

Aktiivinen järjestelmä perustuu ”aktiivisten” katselulasien käyttöön. Kyseessä eivät ole tavallisten silmälasien tapaiset lasit vaan erityiset aktiivilasit, jotka ovat rakenteeltaan massiivisemmat ja painavammat kuin normaalit silmälasit. Aktiivilaseja ohjataan infrapunalähetinyksiköllä, joka yleensä sijoitetaan näyttömonitorin yhteyteen esimerkiksi suoraan kuvaruudun päälle. Lähetinyksikkö lähettää aktiivilaseille kuvasignaalia. Lasien tehtävänä on toimia sulkimena, jotka vuorotellen näyttävät kuvaa A toiselle linssille ja kuvaa B toiselle linssille. Kuvien vaihtonopeus on niin suuri, ettei ihmissilmä ehdi rekisteröidä kuvan vaihtumista ja vaikuttaa siltä, kuin katselisi yhtä jatkuvakestoista kuvaa.

Aktiivijärjestelmän etuna voidaan ajatella, että monitorin eteen ei tule ylimääräisiä paneeleja, jolloin ainakin teoriassa kuva on tarkempi, kun ”ylimääräisiä” esteitä kuvaruudun edessä ei ole. Hinnaltaan aktiivilasit ovat jonkun verran huokeammat kuin passiivijärjestelmän polarisaatiopaneeli. Huonona

puolena aktiivijärjestelmässä lähetyssignaali katkeaa aika ajoin lähetyksikön ja aktiivilasien väliltä. Tällöin näytöllä olevaa kuvaa ei nähdä stereokuvana vaan aivan tavallisena kaksiulotteisena kuvana. Signaalin katkeaminen tapahtuu yleensä silloin, kun ihminen kääntää katseensa pois stereonäytöltä esimerkiksi katsoessaan toista monitoria tai lukiessaan pöydällä olevia papereita, karttoja yms. materiaalia. Lasit eivät välttämättä poimi signaalia uudelleen aivan silmänräpäyksessä, vaikka tulkitsija kääntäisikin katseensa takaisin kohti lähetyksikköä. Tällöin työskentelyyn saattaa tulla pieniä viiveitä, kun joudutaan odottamaan stereonäkemisen palautumista. Aktiivilaseilla on myös taipumusta välkkyä aika ajoin, mikä voi tuntua kiusalliselta ja aiheuttaa myös turhaa silmien räsytystä.

2.2 Passiivinen järjestelmä

Passiivisessa järjestelmässä näyttömonitorin päälle asetetaan aktiivinen polarisaatiopaneeli. Tulkitsija puolestaan käyttää passiivisiä polarisaatiolaseja, jotka ovat aurinkolaseja muistuttavat erikoislasit. Polarisaatiopaneelin ja polarisaatiolasien yhteistoiminnalla synnytetään katselijalle stereovaikutelma.

Polarisaatiopaneeli on tahdistettu näyttömonitorin taajuuden kanssa. Tietokone näyttää monitorille vuoronperään kahta kuvaa A ja B. Kuvaa A näytettäessä polarisaatiopaneeli päästää kuvatiedon lävitsensä vain katselijan toisen silmän havaittavaksi. Vastaavasti kuvaa B näytettäessä kuva pääsee lävitse toiselle silmälle. Kuvia näytetään niin korkealla vaihtelunopeudella, että ihmisen silmä ei ehdi reagoimaan kuvan vaihtumiseen ja tällöin katselijalle syntyy vaikutelma, että hän katsoo yhtä jatkuvakestoista kuvaa. Periaate on siis sama kuin aktiivijärjestelmässäkin.

Passiivijärjestelmän hyviä puolia ovat tulkitsijan käyttämien lasien keveys ja huomaamattomuus verrattuna aktiivijärjestelmän massiivisiin ja huomattavasti painavampiin katselulaseihin. Passiivijärjestelmässä ei esiinny kuvan ”välkkymistä” laseissa mitä aktiivijärjestelmässä saattaa joskus tapahtua. Passiivijärjestelmän heikkoutena voidaan ajatella näytön eteen tulevan polarisaatiopaneelin mahdollista heikentävää vaikutusta tarkkaan näkemiseen. Paneeli saattaa olla likainen tai aiheuttaa heijastumia ruudulle mutta näitä pystytään hallitsemaan säännöllisellä paneelin puhdistuksella ja hyvällä työtilan valaistussuunnittelulla. Polarisaatiopaneeli on hankintahinnaltaan hieman kalliimpi ratkaisu kuin aktiivilasit ja niiden lähetyksikkö.

3 Työskentelyolosuhteet

Stereokartoitustyö vaatii työntekijältä riittävän hyvää näöntarkkuutta erityisesti päänteen etäisyydelle ja kykyä nähdä kolmiulotteisesti. Vaikka henkilöllä olisi riittävä stereonäkökyky, niin stereotyöskentely ei välttämättä aina onnistu. Tarkkaan ei kuitenkaan tiedetä, mikä tai mitkä näkemisen osa-alueet vaikuttavat tähän ajoittaiseen stereonäkökyvyn heikkenemiseen (Stereokartoitustyön...).

Työskentelyolosuhteissa on kiinnitettävä erityistä huomiota työtilan valaistukseen ja riittäviin lepotaukoihin työskentelyn lomassa. Valolähteiden (keinovalo ja auringonvalo) aiheuttamat heijastukset näyttöruudulla heikentävät olennaisesti työskentelyn tarkkuutta ja tällöin silmä joutuu työskentelemään entistä rasittavammissa olosuhteissa. Työntekijä joutuu pinnistelemaan ja tarkentamaan näköään nähdäkseen paremmin heijastusten haitatessa näkemistä.

Työaseman sijoitteluun huoneessa suhteessa olemassa oleviin valolähteisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta kaikenlaiset heijastukset näyttöruudulta saadaan eliminoiduksi mahdollisimman tarkasti pois. Paras työskentelyvalaistus on sopivan hämärä muttei toisaalta liian pimeä (Stereokartoitustyön...). Ikkunat on varustettava pimentämisen mahdollistavilla verhoilla ja keinovaloissa olisi hyvä olla mahdollisuus portaattomaan himmentämiseen.

4 Ammattitaitovaatimukset

Ammattitaitovaatimukset riippuvat pitkälti siitä, mitä kaikkea toimintoja stereotyöasemalla aiotaan suorittaa. Käyttöliittymältään ohjelmistot ovat melko loogisia ja helppokäyttöisiä jokaiselle, joka on työskennellyt muilla Windows-pohjaisilla ohjelmistoilla. Jos toiminnassa keskitytään lähinnä 3D-mittaamiseen kartoitussovelluksessa, niin 1-2 päivän sovelluskoulutuksen ja muutaman viikon käyttöharjoittelun jälkeen tulkitsijalla on jo melko hyvät perusvalmiudet tehdä rutiininomaista mittausta kohtalaisen tehokkaasti. Kartoitussovelluksen käyttö ja tulosten analysointi onnistuu metsällisen koulutuksen omaavalta henkilöltä pienen harjoittelun jälkeen sujuvasti. Kuvatuotannon ja fotogrammetrian tarkempi tuntemus ei ole välttämätöntä. Kartoitussovelluksiin on sisäänrakennettu toiminnallisuksia, jotka hoitavat fotogrammetriset laskelmat käyttäjän puolesta. Käyttäjän tehtäväksi jää vain osoittaa ne asiat, mitä haluaa mitattavan.

Mikäli pelkän mittaustyön ja mittaustulosten analysoinnin lisäksi halutaan tuottaa stereokuvamateriaalia, kasvaa ammattitaitovaatimukset jonkin verran. Moni kuvatuotannon työvaihe on silti pitkälle automatisoitu nykyisissä ohjelmistoissa ja jätetty tietokoneen tehtäväksi sekä laskettavaksi. Silti kuvatuottajan on syytä olla perehtynyt kuvatuotannon teoriaan ja niihin

matemaattisiin laskuperusteisiin ja -kaavoihin, jota kautta ortokuvien oikaisu, pistetihennykset, kuvaparien orientaatio yms. toimenpiteet suoritetaan. Perusvalmiudet kuvatuotannon ja fotogrammetrian tuntemukseen kannattaa tällöin hankkia esimerkiksi eri korkeakoulujen tarjoamasta koulutuksesta soveltuvin osin. Itse opiskellen ainakin osa näistä asioista voi olla hankalasti sisäistettävissä. Tällöin kasvaa riski, ettei mahdollisia kuvatuotannon virheitä havaita tai ongelmatilanteissa ei ymmärretä edes koko ongelman luonnetta. Kuvatuotannon onnistuminen ja oikeellisuus on koko fotogrammetrisen mittausprosessin perusta, jotta kuvilta mitattava informaatio olisi mahdollisimman tarkkaa ja reaali maailman kanssa yhtäpitävää.

5 Työn tuottavuus

Työn tuottavuus riippuu ratkaisevasti siitä, mitä kaikkea informaatiota stereokuvaalta pyritään mittaamaan. Tässä hankkeessa tuottavuutta tarkasteltiin puuston keskimääräisen pituustiedon tuottamisessa kuviokohtaisesti ja puulajeittain. Keskipituustiedon mittasi FM Kartta Oy. Työ tehtiin manuaalisesti mittaamalla. Työasema oli varustettu aktiivilasijärjestelmällä ja kahden käden 3D-hiirellä sekä kahdella monitorilla.

Varsinaista pituusmittaustyötä arvioitiin tehtävän jopa 100 ha tunnissa ennalta kuvioidulla metsäalueella. Mittaukseen sisältyi kuvioittain ja puulajeittain mitatut latvuskorkeudet. Mittaustulosten analysoinnin ja paikkatietojärjestelmään tallennuksen ajanmenekki riippuu suuresti ohjelmistosovelluksen käyttöliittymän ominaisuuksista ja siihen erikseen muokatuista automatisoiduista toiminnoista, jotka voivat nopeuttaa laskenta- ja tallennustyötä huomattavastikin. Joka tapauksessa yhden työpäivän mittaustyön analysointi, mahdollinen muokkaus ja tallennus vie aikaa vähintään 1-2 työpäivää.

Hujalan (2001) tutkimuksessa mitattiin visuaalisella stereotulkinnalla EspaCity-ohjelmistoa käyttäen koealapeiteitä, joilta tulkittiin metsikkötunnuksista pääryhmä, alaryhmä, kasvupaikkatyyppi, lisämääre, metsikköluokka, kehitysluokka, pääpuulaji, suhteellinen tiheys, keskipituus ja lehtipuuosuus. Tämän tutkimuksen tuloksena todettiin, että sopivana tuntituottavuustavoitteena kyseisenlaisessa tulkintatyössä voidaan pitää 15-20 ha. Koska mittaustyöskentely on melkoisen intensiivistä ja rasittavaa työpäivän pituudeksi kannattaa rajoittaa maksimissaan 5-6 tuntia. Näin laskettuna päivätuotos olisi luokkaa 75-120 ha.

Mittaus- ja tulkintatyöskentelyn lisäksi aikaa menee jonkin verran stereokuvaparien asemointiin työasemalle sekä maanpinnan mallien muodostamiseen. Nämä työvaiheet tehdään vain kertaalleen, jonka jälkeen ne ovat aina käytettävissä uudelleen, joten kokonaisajankäytössä näiden työvaiheiden osuus jää varsin pieneksi.

6 Johtopäätökset

Digitaalisen stereotyöaseman kokoonpanoa suunniteltaessa tulisi miettiä tarkasti, että mitä kaikkia toimintoja järjestelmältä edellytetään tai mahdollisesti tulevaisuudessa tullaan edellyttämään ja näiden tarpeiden pohjalta kartoittaa sitten eri laitevalmistajien mahdollisuuksia vastata juuri niihin omiin, tarkoin yksilöityihin tarpeisiin. Yleiskäyttöiset systeemit, jotka sisältävät kaikki tavanomaisimmat toimintokokonaisuudet ovat hinnaltaan helposti vähintään puolet kalliimpia kuin mitä jotkut pienemmät järjestelmät, joissa keskitytään vain tiettyihin osatoimintoihin. On hyvä miettiä esimerkiksi stereokuvatuotantoprosessi (ortokuvien oikaisu, pistetihennykset ja kuvaparien orientaatio), tullaanko se tekemään itse vai onko se järkevämpää ostaa esimerkiksi ilmakuvat toimittavalta taholta. Ellei tätä ”kartanvalmistusvalmiutta” tarvita järjestelmältä, voidaan työasemakokoonpanoksi ottaa kevyempi kokonaisuus, jonka toiminnot keskittyvät 3D-mittaamiseen ja mittaustulosten analysointiin.

Käyttäjähastatteluihin ja omiin kokemuksiini perustuen stereotyöasemakokoonpano kannattaa varustaa kahdella näytöllä. Se helpottaa ja järkevöittää työskentelyä huomattavasti, kun toinen näyttö on pelkästään stereokuvan tarkastelua varten ja toisella näytöllä operoidaan esimerkiksi CAD- tai paikkatieto-ohjelmiston kanssa. Kahdesta vaihtoehdoisesta katselujärjestelmästä passiivinen järjestelmä vaikuttaa vähemmän haavoittuvaiselta ja käyttäjäystävällisemmältä kuin aktiivinen järjestelmä. Sinänsä stereokuvan laatuun ei järjestelmän tyyppillä ole vaikutusta, vaan molemmilla saadaan aikaan laadukasta kuvaa, jos muut osatekijät vain ovat kunnossa. 3D-hiirivalinta on osittain makukysymys, osittain myös laitevalmistajasta riippuvainen. Kahden käden hiiri voi tuntua vakaammalta käyttää, kun stereokuvalla pyritään osoittamaan mahdollisimman tarkasti juuri tiettyyn kohtaan. Kahden käden hiiri vähentää myös mittaajan käsi- ja hartialihasten toispuoleista rasittumisastetta ja jakaa kuormitusta tasaisemmin. Mikäli mittaustyössä asetetaan manuaalisesti suuria määriä mittapisteitä kahden käden hiiri puoltaa silloin paikkaansa.

Ilmakuvien laatuun tulee panostaa, sillä huonolaatuiset ilmakuvat johtavat siihen, että niistä valmistetut stereokuvat ovat epätarkkoja ja stereovaikutelmaltaan vajavaisia. Mikäli stereokuvaa ei saada näkymään riittävän selkeästi stereona, on kuvien käyttöarvo lähellä nollaa. Ilmakuvan mittakaavalla on suuri vaikutus siihen, mitä kaikkea ilmakuvulta voidaan luotettavasti erottaa. Tyypillisesti metsätalouden käytössä oleva ilmakuva on mittakaavaan 1:30 000. Mikäli ilmakuva olisi esimerkiksi mittakaavaan 1:20 000 puuyksilöt erottuisivat huomattavasti selvemmin kuvalta ja esimerkiksi puulajitunnistus olisi huomattavasti luotettavampaa kuin 1:30 000 kuvilta. Lisäksi runkoluvun/pohjapinta-alan arvioiminen helpottuisi ja tätä kautta kuvioille olisi mahdollista johtaa alustavat puustotiedot luotettavammin. Yleisesti ottaen kuviotason tulkinnassa 1:30 000 on pidetty riittävänä, puutason tulkinnassa mittakaavan tulisi olla alle 1:20 000 (Kangas ym. 2003)

Mittakaavan suurennos aiheuttaisi huomattavan lisäkustannuksen ilmakuvien hankinnassa mutta aiheuttaisi jatkotutkimukseen tässä kohden olisi. Stereotyöasemaa perustettaessa on varauduttava noin 20000 € suuruiseen laitteistoinvestointiin. Sen lisäksi tulevat kustannukset stereokuvamateriaalin hankinnasta. On tarkkaan mietittävä halutaanko kuvat tuottaa itse. Saadaanko siitä jotain lisäarvoa, jos kuvanvalmistus tehdään metsäkeskuksessa. Tukeeko se metsäkeskuksen muita toimintoja ja onko se kustannustehokasta. Luonnollisimmalta työnjaolta tuntuisi se, että kuvatuotannosta vastaisivat kuvatuotannon ammattilaiset ja kuvien metsätaloudellisesta tulkinnasta ja hyödyntämisestä metsätalouden ammattilaiset. Ostettaessa stereokuvat ilmakuvat toimittavalta taholta, voitaneen päästä kohtalaisen alhaisilla lisäkustannuksilla, jos neuvotellaan kokonaispaketti ilmakuvien hankinnasta ja niistä valmistetuista stereokuvapareista. Kyseessä on silti niin suuri investointi, että puuston pituusmittauksen lisäksi on järkevää etsiä ja kehittää muitakin käyttömuotoja stereokuvan hyödyntämiseksi.

Digitaalinen stereotyöasema avaa uusia mahdollisuuksia hyödyntää jo olemassa olevaa kaukokartoitusmateriaalia, jota metsäkeskukseen hankitaan ilmakuvien muodossa. Ilmakuvien tarkastelu stereokuvina saattaisi moninkertaistaa kuvilta saatavan informaatiohyödyn, mikäli vain soveltuvia työmenetelmiä olisi käytettävissä. Stereokuvan hyödyntämismahdollisuuksia ja –menetelmiä tulee kehittää ja testata vielä lisää ennen kuin varsinaista päätöstä laitteiston hankinnasta tehdään. Yksi varteenotettava vaihtoehto olisi hankkia joltain valmistajalta stereotyöasema koekäyttöön metsäkeskukseen.

7 EspaCity – digitaalinen fotogrammetrinen kartoitussovellus

7.1 Johdanto

EspaCity-ohjelmisto on suomalaisen Espa Systems Oy:n valmistama kartoitussovellus, joka toimii Windows ympäristössä. Sovelluksessa on mahdollista suorittaa 3D-mittausta joko manuaalisesti stereotulkitsijan toimesta tai automaattisesti kuvapiirteiden 3D-yhteensovituksen kautta. Sovellukseen sisältyy automaattinen maastomallin muodostustoiminto, maastomallin editointimahdollisuus, korkeuskäyrien laskenta, vektoriaineiston päälle näyttö, 2D-vektoriaineiston muunnos 3D-aineistoksi ja käyttäjän mahdollisuus luokitella kohdepiirteitä tarpeidensa mukaan. Espa Systems tarjoaa kartoitussovelluksen lisäksi omat sovelluksensa ilmakolmiointiin ja ortokuvatuohtantoon.

7.2 Käyttöttestaus

EspaCity-ohjelmistoa testattiin yhden päivän ajan Espa Systems Oy:n toimitiloissa Espoossa. Stereokuvamateriaalin testausta varten toimitti FM-Kartta Oy valmiina stereokuvapareina. Kuvat oli asemoitu EspaCity-työasemaan ennakolta Espa Systemsin henkilöstön toimesta. Kuvien asemoinnissa oli ilmennyt joitakin ongelmia. Nämä ongelmat olivat johtuneet ohjaustiedostojen ja EspaCity-ohjelmiston jonkin asteisesta epäsopivuudesta keskenään. Kuvien asemoinnin ei pitäisi tuottaa ongelmia sinänsä, kunhan ohjaustiedostojen formaatti ja EspaCityn valmius lukea kyseistä formaattia varmistetaan huolella.

Sovelluksen käyttäjänä testipäivän ajan toimi Pasi Myllyniemi Espa Systemsistä. Näin siksi, että tarkoitus oli tutustua ohjelmiston tarjoamiin mahdollisuuksiin eikä suinkaan opetella käyttämään ohjelmistoa. Yleisvaikutelmaltaan sovelluksen käyttäminen vaikutti jouhevalta ja loogiselta. Käyttöliittymä oli ulkoasultaan Windows-tyylinen alas vedettävine valikkorakenteineen. Ohjelman toiminnan perusfilosofian voisi tiivistää seuraavasti. Valikoista valitaan mitä halutaan ohjelman tekävän ja kavalta osoitetaan kohde tai kohdealue, jolle tämä toiminto halutaan tehtävän.

Puuston pituusmittauksen nollatasoksi muodostettiin maanpinnan malli, jolta puiden kasvu oletettiin alkavaksi. Ohjelma muodosti maanpinnan mallin automaattisesti, kun sille annettiin riittävä määrä mittapisteitä kattavasti alueelle sijoiteltuna. Testialueen tasaisuudesta johtuen on vaikea sanoa, kuinka hyvään ja tarkkaan mallinnukseen ohjelma kykenee vaihtelevimmissa korkeusolosuhteissa. Toinen taso muodostettiin puuston latvuksista sijoittamalla mittapisteet automaattisella valinnalla puiden latvuksiin. Valinta perustuu paikallisten sävyarvomaksimien ja -minimien etsimiseen kuvapikseleiltä. Ajon vaativin vaihe oli oikeiden parametrien antaminen siten, että puuston pituus tulisi parhaiten esille. Kun parametrit oli haettu käytettävään kuvaan sopiviksi, voitiin latvusten korkeusmalli ajaa automaattisesti. Puuston pituus saatiin selville, kun latvustason mittapisteestä vähennettiin maanpinnan mallin mittapistelukema.

Ohjelmassa voi säätää mittapisteverkoston tiheyttä halutunlaiseksi. Verkostolla tarkoitetaan sitä, kuinka tiheään ohjelma sijoittaa mittapisteitä kuvalle, esimerkiksi 5 tai 10 metrin välein. Mitä tiheämpi verkosto, sen kauemmin ohjelmalla menee laskea ne. Toisaalta tiheämpi verkosto antaa yksityiskohtaisemman kuvauksen kohteesta. Ohjelmistossa ei ollut valmiina omaa sovellusta, joka olisi automaattisesti osannut vähentää yhden tason mittapistelukeman toisen tason lukemasta. Tällainen pieni lisäosa on tarpeen mikäli puustomittausta aiotaan suorittaa kyseisellä ohjelmalla. Kaikenlainen rutiininomainen laskenta on järkevää koodata ohjelmanpätkäksi ja sijoittaa omana toimintonaan ohjelman itsensä suoritettavaksi, jotta vältytään aikaa vievältä käsityöltä.

Automaattisen tulkinnan avulla toteutettiin pituuksien mittaus noin 50 hehtaarin neliön muotoiselle alueelle. Tiheä pisteytys vei tietokoneelta aikaa noin 2 minuuttia ja harvempi kuviotason mittauksiin riittävä tarkkuus saatiin aikaan harvemmalla pistetiheydellä, jonka ajoi vei muutamia sekunteja. Energiapuukohteet oli mahdollista erottaa näiltä kuvilta päättelemällä puuston pituus esimerkiksi ajosta syntyneen tiedoston rasterimuunnoksesta, jossa eri pituusluokat oli teemoitettu. Lisäksi oli tulkittava puuston tiheysasema visuaalisesti. Tämä oli mahdollista, koska latvusten sulkeutuneisuus erottui rasterikuvalla tasaisuutena. Esimerkkikohteessa olivat energiapuukohteet 10 – 11 metriä pitkiä ja niitä sattui 20 kuvion aineistoon 2 kpl.

Pituusmittausten ja tulkintakonseptin toimivuuden ennakoimiseksi arvioitiin koealueen kaikki sille kokonaisuudessaan sattuvat kuviot (noin 20 kpl) visuaalisesti pituusmittaus- ja vääräväri-ilmakuvan avulla. Pituusmittauskuvasta tulkittiin suhteellinen tiheysasema ja puulajittaiset keskipituudet. Puulaji pääteltiin ilmakuvalta. Pohjapinta-ala ja läpimitta pääteltiin suhteellisen tiheyden ja pituuden avulla. Mittauksessa todettiin tässä aineistossa onnistumisprosentiksi 80 %, eli tällä osuudella kuvioista

päästiin kuvioittaisen arvioinnin tarkkuuteen. Kahdella kuviolla mittaus epäonnistui ilmakuvan sävyn ja puulajisuhteiden ristiriidan vuoksi.

7.3 Pohdintaa

EspaCity-ohjelmiston tarjoamat mahdollisuudet stereoilmakuvilta tapahtuviin mittauksiin vaikuttavat mielenkiintoisilta ja osin haasteellisiltakin. Yhden testipäivän aikana saadut karkeatkin tulokset olivat rohkaisevia. Automaattinen latvusten korkeuden mittaus onnistui ohjelmistolta vähintäänkin tyydyttävästi, kun saatuja mittalukemia verrattiin maastossa mitattuihin puiden pituuksiin.

Kokeiluaineisto oli varsin suppea, joten mitään pitemmälle meneviä johtopäätöksiä ohjelman todellisesta potentiaalista ei voida vielä tehdä. Testitulokset antoivat silti viitteitä siitä, että ohjelmiston lisätestaaminen vaikuttaisi järkevältä toimenpiteeltä. Olisi mielenkiintoista verrata, millaisia pituusmittalukuja samoille puille saataisiin automaattisella mittausoiminnolla verrattuna manuaaliseen mittaukseen. Kuinka kattavasti automaattinen mittausprosessi löytäisi kaikki latvukset kuvioittain? Mittaluvusta voitaisiin juontaa kuvioille runkolukuja/pohjapinta-aloja. EspaCity-ohjelmiston vahva puoli kilpailijoihinsa nähden on automatisoitu mittapisteiden sijoitusprosessi. Se on huomattavasti manuaalista vaihtoehtoa nopeampi ja tehokkaampi tapa mutta samalla nousee myös kysymyksiä siitä, miten automaattiseen mittausprosessiin voidaan joustavasti kytkeä esimerkiksi puulajitunnistus. Testipäivän tulokset ja kokemukset ohjelmistosta herättivät paljon odotuksia ja kysymyksiä, joihin on mahdollista saada vastauksia vain laajemmalla ohjelmatestauksella ja huolellisesti dokumentoimalla saadut tulokset. On huomioitava, että EspaCity-ohjelmistoa ei ole suunniteltu ja valmistettu metsätalouden tarpeita silmällä pitäen. Pienillä ohjelman sisäisillä metsällisillä lisäsovelluksilla EspaCity saattaisi soveltua myös metsätalouden kartoitustyökaluksi.