



Hanna Eerikäinen



Petteri Packalén



Matti Maltamo



Juha Mäkitalo

Hanna Eerikäinen, Petteri Packalén, Matti Maltamo ja Juha Mäkitalo

Ruissalon tammien visuaalinen tulkinta stereokuvaalta

Eerikäinen, H., Packalén, P., Maltamo, M. & Mäkitalo, J. 2010. Ruissalon tammien visuaalinen tulkinta stereokuvaalta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2010: 129–142.

Työn tavoitteena oli selvittää Turun Ruissalon tammien (*Quercus robur*) tunnistusta visuaalisen stereokuvatulkinnan avulla. Työssä tutkittiin millä tarkkuudella tammien tunnistus on mahdollista sekä mitkä ovat suurimmat virhelähteet. Aineisto koostui tarkan spatiaalisen resoluution ilmakuvaista sekä kaksiosaisesta maastoaineistosta: koealoista, jotka toimivat tulkinnan opetusaineistona ja harjoitustulkinnan tarkastusaineistona, sekä laajemman tulkinnan koealueesta. Työssä tunnistettiin subjektiivisesti tammia stereoilmakuvasta visuaalisen kuvatulkinnan menetelmiä käyttäen. Koealueen tammien oikeinluokitusprosentti on 53 %, kommissiovirhe 27,5 % ja omissiovirhe 19 %. Virhettä aiheutui siitä, että kuvalla puu virheellisesti tulkittiin tammeksi, vaikka maastomittausten mukaan se oli muuta puulajia. Useimmiten tammisiin sekoitetut puulajit olivat lehmus ja raita. Virhettä aiheuttivat myös suurilatvuksiset tammet, joita kuvalla virheellisesti tulkittiin kahdeksi erilliseksi tammeksi. Kuvatulkinnassa täysin tunnistamatta jääneet tammet painoutuivat pienimpiin läpimittaluokkiin. Menetelmän tarkkuus on parhaimmillaan silloin, kun keskitytään läpimitaan yli 50 cm oleviin tammisiin. Tosin kuvatulkintaa on lähes mahdotonta suunnata vain tämän läpimitan ylittäviin tammisiin. Menetelmä on kuitenkin tarkoituksenmukainen, koska vanhoista järeistä tammista ollaan Ruissalossa erityisen kiinnostuneita. Tarkkuutta voidaan parantaa kalibroimalla tulkitsijan silmää maastovierailuin sekä käyttämällä tulkinnassa apuna ulkopuolisia tiedonlähteitä, kuten kuviotietoja.

Asiasanat: tammi (*Quercus robur*), visuaalinen stereokuvatulkinta, digitaalinen ilmakekuva
Yhteystiedot: Eerikäinen, Packalén ja Maltamo, Itä-Suomen yliopisto, metsätieteiden osasto, PL 111, 80101 Joensuu; Mäkitalo, Turun kiinteistöliikelaitos, PL 355, 20101 Turku

Sähköposti matti.maltamo@uef.fi

Hyväksytty: 31.5.2010

Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff10/ff102129.pdf>

I Johdanto

Tammi (metsätammi) (*Quercus robur*) on yksi Suomen jalopuulajeista. Lajille tyypillistä on ylviistöön ja sivulle siirtävät oksat sekä kupumainen latvus (Hämet-Ahti ym. 1992). Tammella on taipumus suunnata kasvunsa valon suuntaan, mikä aiheuttaa latvuksen epäsäännöllisen muodon ja mutkaiset oksat (Antikainen 1992). Tammet kasvavat Suomessa keskimäärin 10–20 metriä pitkäksi, joskin pisimmät tammet voivat olla jopa 30 metriä pitkiä.

Tammen arvoa luonnon monimuotoisuudelle voidaan tarkastella sekä puu- että metsikkötasolla. Jalojen lehtipuiden muodostamat metsät ovat Suomessa suhteellisen harvinaisia, joten niiden tarjoamat elinympäristöt ovat biologisen monimuotoisuuden kannalta rikkaimpia ja vaihtevimpia. Yksi vanha ja suuri tammiyksilö toimii myös yksinään elinympäristönä monille tammelle erikoistuneille hyönteis-, kasvi- ja sienilajeille. Jalopuumetsät tarjoavat erityisesti hyviä elinympäristöjä kolopesijälinnuille, kuten uuttukyyhkylle, lehtopöllölle sekä uhanalaisille pikku- ja harmaapäätikalle. Jalopuumetsissä elää myös runsas joukko nisäkkäitä, eritoten pikkujyrsijöitä. Jalopuu-lehtojen vanhat kolopuut tarjoavat elinympäristön myös monille lepakkolajeille, kuten isoviikisiipalle ja vesisiipalle (Alanen 1996).

Tammi on puulajeista kaikkein suosituin isäntäpuu (Alanen 1996, Ek ja Johannesson 2005). Vain tammella eläviä hyönteisiä on tavattu yli 1 000 lajia (Holmåsén 1991). Ruotsissa tammelta on löydetty jo pelkästään kovakuoriaislajeja yli 500 (Ek ja Johannesson 2005). Suomen uhanalaisista lajeista etupäässä tammella viihtyy lähes sata. Tammella eläviä uhanalaisia perhoslajeja on Suomessa noin 40 ja uhanalaisia kovakuoriaisia noin 20 lajia. Pääosa uhanalaisista lajeista elää lahoissa pystyvuissa. Tammella elää myös uhanalaisia jäkäliä, esim. jalota tammengermajäkälä (Alanen 1996).

Turun kaupungin omistaman Ruissalon saaren historiaan tammi kuuluu kiinteästi. Saaren korkeimmat kohdat nousivat merestä noin 3 200 vuotta sitten. Nykyään Ruissalossa esiintyy kuvioittaisen arvioinnin mukaan tammea joko pää- tai sivupuulajina yhteensä 265 hehtaarilla (Ruissalon hoito- ja käyttösuunnitelma 2006). Saaren tammimetsien yhtenä erityispiirteenä on tiettyjen ikäluokkien vähyys tai jopa puuttuminen kokonaan. Inventoinnin

2003–2004 mukaan ikäluokat 100–150 vuotta ja 150–200 vuotta puuttuvat lähes täysin. Yhtenä syynä tähän pidetään laajaa metsälaidunnusta saaren historiassa. Kuitenkin laidunnuksen ja siihen liittyneiden maankäyttömuotojen voidaan katsoa jopa suosineen tammea, koska nämä toimet mahdollistivat puustoisten tamminiittyjen syntymisen (Vuorela 2001). Suurin osa tammista kuuluu ikäluokkaan 50–100 (ikäluokkaa esiintyy 216 ha) (Ruissalon hoito- ja käyttösuunnitelma 2006). Ruissalon vanhimmat tammet ovat arvioiden mukaan n. 400-vuotiaita, mutta suurin osa vanhoista tammista on iältään 200–300 vuotta (Rainio 1979).

Ruissalon tammet ovat ulkomuodoltaan tyypillisiä vanhojen laidunmaiden tammia. Täten ne poikkeavat esimerkiksi Keski-Euroopassa kasvavista suora- ja pitkärunkoisista tammista. Ruissalon vanhat tammet ovat suhteellisen lyhyitä ja erittäin laajalatuvoisia. Niiden rungot ovat ryhmyisiä ja paksuja, ja ne ovat usein kallellaan johonkin suuntaan. Niissä on paljon suuria oksia. Viereisien puiden varjostuksen takia suuriakin oksia on voinut kuolla, minkä takia ne joko pysyessään kiinni rungossa jäävät lahoamaan tai irtoavat ja putoavat maahan. Vanhojen tammien ulkomuoto on osittain seurausta siitä, että ne ovat kasvaneet väljässä tilassa laajamittaisen laidunnusvaiheen aikana, minkä vuoksi ne ovat kehittyneet runkomuodoltaan järeiksi. Myös tammien latvus ja oksisto on väljässä tilassa muodostunut laajaksi. Tämä aiheuttaa sen, että tällaisten tammien on vaikeampaa myöhemmässä vaiheessa sopeutua latvuskerroksessa vähentyneeseen valon määrään (Ruissalon hoito- ja käyttösuunnitelma 2006).

Tutkimuksen taustalla on Turun kaupungin huoli vanhojen tammien selviytymismahdollisuuksista. Avoimella paikalla matalarunkoisiksi ja paksuoksisiksi kasvaneet tammet eivät pysty sopeutumaan muiden puulajien kilpailuun. Kuusten ohella myös koivut ja haavat tukahduttavat tammet helposti varjostuksellaan. Erityisesti tammien paksut oksat ovat herkkiä varjostukselle ja kuivuvat nopeasti joutuesaan kosketukseen muiden puiden kanssa (Kiuru 1996). Tammi vaatii vanhemmiten vähintään kaksi metriä vapaata tilaa latvuksensa ympärille, joten varjostavat puut sen ympäriltä tulisi poistaa (Kiuru 1996).

Ruissalossa tärkeitä metsänhoidollisia toimenpiteitä ovat tammien vapauttamiseksi tehtävät hak-

kuut. Niitä suunniteltaessa on tärkeää kiinnittää huomiota hakkuun kiireellisyyden määrittämiseen. Kiireellisimpiä hakkuukohteita ovat muiden, lähinnä Suomessa tavanomaisten puulajien uhkaamaksi joutuneet iäkkäät tammets. Hoitotoimenpiteillä pyritään myös luomaan luonteeltaan ja piirteiltään erilaisia tammimetsiä (Ruissalon hoito- ja käyttösuunnitelma 2006). Kaukokartoitusmenetelmän kehittämisellä Ruissalon tammien tunnistamiseksi haetaan kustannustehokkuutta hoitotoimenpiteiden kohdentamiseen.

Visuaalinen ilmakuvatulkinta soveltuu tehtäviin, joissa tulkinta kohdistuu kuvalla näkyviin geometrisiin hahmoihin, sekä niiden välisiin suhteisiin ja toiminnallisiin yhteyksiin. Tällaisissa tehtävissä ihmismä on joustavampi kuin tietokone. Visuaalisen kuvatulkinna tavoitteena on tunnistaa kohteita kuvasta, ja antaa niille merkityksiä käyttämällä ihmisen silmien ja aivojen kohteesta muodostamaa mielikuvaa (Konecny 2003). Paine ja Kiser (2003) luettelevat seitsemän ilmakuvan tulkinna peruseriaatetta, jotka ovat kohteen absoluuttinen ja suhteellinen koko, muoto, varjot, sävy tai väri, tekstuuri, kuvio (pattern) sekä sijainti ja yhteydet muihin kohteisiin. Näitä kaikkia visuaalisen kuvatulkinna periaatteita voidaan käyttää hyväksi myös tammien tunnistamisessa. Taitava tulkitsija pystyy tunnistamaan piirteitä ilmakuvasta ja tekemään päätelmiä ympäristöstä tietoisesti tai tiedostamatta yhdistelemällä joitain tai jopa kaikkia kuvatulkinna periaatteita (Paine ja Kiser 2003). Visuaalista ilmakuvatulkintaa käytetään Suomessa muun muassa metsätalouden suunnittelussa sekä peruskartoituksessa. Merkittävin käyttökohde metsätaloudessa on metsäalueiden ennakkokuvointi kuvioittaista arviointia varten.

Ilmakuvien stereonäkeminen perustuu eri etäisyydellä olevien kohdepisteiden yhdensuuntaissiirtymään eli parallaksiin. Ilmakuvista muodostetaan stereomalli ottamalla lentolinjalta kaksi peräkkäistä kuvaa, jotta näiden kuvien yhteistä aluetta eli stereopeittoa voidaan katsella stereokuvana. Digitaaliset stereotyöasemat ovat yleistyneet numeeristen kuvien myötä. Stereotyöasema tuo kuvatulkinnaan suuren laskentakapasiteetin ja paljon automatisoitua teknologiaa (Konecny 2003). Digitaalisia kuvia tietokoneen näytöllä tarkasteltaessa käytetään usein periaatetta, jossa oikean ja vasemman puoleinen kuva vuorottelevat näytöllä noin 50 kertaa sekunnissa.

Kuvaparia tarkastellaan aktiivisin silmälasein, jonka okulaarien sulkimet tahdistetaan samaan rytmiiin (Konecny 2003).

Metsien inventoinnissa puulajin tunnistus on erittäin tärkeää teknisistä, taloudellisista ja ekologisista syistä (Korpela 2004). Yksittäisen puun puulaji voidaan tunnistaa joko kaksiulotteiselta ilmakuvasta tai stereokatselun avulla stereokuvaparista. Puulajin tunnistamisessa voidaan käyttää monia eri ominaisuuksia, jotka vaihtelevat mittakaavan mukaan. Myös puulajien ekologisia ominaisuuksia voidaan käyttää rajaamaan pois mahdottomia vaihtoehtoja. Mitä selvempiä ja tunnetumpia puulajin ominaisuudet ovat tulkitsijalle, sitä tarkempaa puulajin tunnistaminen on. Kuitenkin selvien ominaisuuksien vähentyessä tai samojen ominaisuuksien esiintyessä monella lajilla (esim. saman suvun sisällä) tunnistamisesta tulee vaikeaa. Kuvan mittakaavan pienentyessä menetetään pieniä yksityiskohtia, kuten yksittäisiä lehtiä ja oksia. Tämän takia puulajeja tunnistettaessa parhaimpia ovat suurimittakaavaiset ilmakuvat (Korpela 2004).

Puulajin tunnistus ilmakuvasta edellyttää paikallisten maasto-olosuhteiden tuntemusta. Paikalliset tulkinta-avaimet puulajin tunnistamiseen voidaan hankkia vain intensiivisesti maastossa harjoittelemalla (Loetsch ja Haller 1973). Tunnistuksen onnistumiselle ei voida antaa yhtä yleispätevää oikeinluokituksen raja-arvoa, vaan hyvyys määräytyy tilanteen ja puulajiluokkien mukaan. Korpelan ja Tokolan (2006) mukaan puulajin tunnistamisessa tyydyttävänä oikeinluokituksen rajana pidetään 95 %:a, mutta asetelmasta riippuvaisesti myös luokituksia, joiden oikeinluokitusprosentti ylittää 75, voidaan pitää lupaavina (mm. Quackenbush ym. 2000, Olofsson ym. 2006, Hájek 2008).

Korpelan ym. (2007) tutkimuksessa tulkittiin puulajeja visuaalisesti stereokuvasta boreaalisissa olosuhteissa ja luokiteltiin ne luokkiin mänty, kuusi ja lehtipuu sekä lisäksi eroteltiin kuolleet puut. Puiden luokittelu oli osa puoliautomaattista yksinpuintunntukseen perustuvaa inventointimenetelmää. Luokituksessa käytettiin aina yhtä tai kahta kuvaa, jossa puu oli valaistu niin, että varjo oli näkyvissä. Tämä helpotti kuusen ja männyn erottamista. Tunntuksen suoritti kokenut ilmakuvatulkitsija. Luokituksen tarkkuus oli 93,7 %.

Anttilan (1998) tutkimuksessa käytettiin visuaa-

lista puulajien tunnistusta ilman stereomallia. Tulkinta tehtiin korkeakuvaus- ja matalakuvauskuvien perusteella. Puulajeja oli neljä: mänty, kuusi, rauduskoivu ja hieskoivu. Korkeakuvauksessa saatiin yhdelle alueelle oikeinluokitusprosentiksi 100, kahdelle matalakuvausten alueelle se oli noin 51 % ja 61 %. Korkeakuvausten hyvä tulos kertoo kuitenkin enemmän sattuman suuresta vaikutuksesta kuin todellisesta tulkinnan hyvyydestä (Anttila 1998).

Tämän työn tavoitteena on tutkia visuaalisen stereotulkinnan menetelmän toimivuutta ja tarkkuutta Ruissalon suurimpien tammien kartoituksessa tarkan spatiaalisen resoluution ilmakuvilta. Tarkoituksena on selvittää, tunnistetaanko maastossa paikannetut tammetsä ilmakuvalla stereokatselulla. Työssä tutkitaan myös, voidaanko tammia ylipäättään erottaa muista lehtipuista tarkan resoluution ilmakuvaineistolta stereokuvatulkinnalla, ja millä tarkkuudella se on mahdollista. Tutkimuksen tarkoituksena on myös selvittää, mitä piirteitä tammien tunnistuksessa kannattaa käyttää, eli mitkä puulajille ominaiset seikat erottavat tammetsä muista puista.

2 Aineisto

2.1 Ruissalo tutkimusalueena

Turun kaupunkiin kuuluva Ruissalon tila koostuu Ruissalon saaresta, ympäröivästä merialueesta ja Ruissaloon läheisesti liittyvistä saarista. Ruissalon pääsaaren pinta-ala on noin 856 ha. Ruissalon tilaan kuuluvien saarten, karien sekä luotojen ala on noin 67 ha. Lisäksi tilaan kuuluu noin 1394 ha merialueita. Turun kaupunki sai Ruissalon hallintaansa alun perin Venäjän tsaarin Nikolai I:n vuonna 1845 tekemällä päätöksellä. Suomen valtion ja Turun kaupungin välisessä Ruissalon omistusta koskevassa sopimuksessa 13.5.2006 vahvistettiin Ruissalon tila Turun kaupungin omistukseen lukuun ottamatta Kasvitieteellisen puutarhan aluetta (n. 24 ha) ja Kallanpään varikkoaluetta (n. 28 ha). Ruissalo kuuluu hemiboreaaliseseen kasvillisuusvyöhykkeeseen (ns. tammimetsävyöhyke), joka ulottuu Suomessa etelä- ja lounaisrannikolle. Maantieteellisen sijaintinsa takia ilmasto-olosuhteet Ruissalossa ovat erittäin edulliset. Ympäröivä meri tasaa lämpötilan vaihte-

luita, saaren ollessa kuitenkin suojassa ulkosaariston koviilta lounaistuulilta.

Puuston kokonaismäärä oli Ruissalossa inventoinnin 2003–2004 mukaan noin 89 300 m³ (vuoden 1957 suunnitelmassa 55 091 m³). Metsämaalla tämä tarkoittaa 181 m³/ha ja kitu- ja joutomaat mukaan lukien 165 m³/ha. Inventoinnin tuloksista voidaan Ruissalon hoito- ja käyttösuunnitelman mukaan päätellä, että tammien kehityksen kannalta suurimman haitan muodostaa rauduskoivu. Toinen tammien kasvuoloja merkittävästi heikentävä puulaji on haapa. Koivun ja haavan haitallisuus perustuu nuoruusvaiheen nopeaan kasvuun. Koivu on erittäin yleinen sekapuuna Ruissalon tammikoissa. Vaahtera ja paikoin myös mänty ovat haitaksi tammelle varjostusvaikutustensa takia.

Puulajeista mäntyä on Ruissalossa eniten sekä tilavuudeltaan (41 390 m³) että pinta-alaltaan (esiintyminen pääpuulajina, 298 ha). Tammea on pinta-alallisesti toiseksi eniten (esiintyminen pääpuulajina, 117 ha, osuus metsämaasta 39 %). Myös yli 50 vuoden takaisessa metsäsuunnitelmassa tammivaltaiset metsät olivat toisena 20,6 % osuudella kasvullisten metsien alasta (esiintyminen pääpuulajina, 86 ha). Tammen kokonaistilavuus on vuoden 2003–2004 inventoinnin mukaan 11 430 m³. Vuoden 1957 metsäsuunnitelmassa tammen tilavuus oli 8 992 m³. Kummassakin suunnitelmassa rauduskoivulla ja kuusella on kuitenkin suurempi kokonaistilavuus kuin tammella. Tammen tilavuuden laskennassa on käytetty koivun runkokäyrää, joten tilavuus on vain suuntaa antava (Ruissalon hoito- ja käyttösuunnitelma 2006, Turun kaupungin metsäsuunnitelma 1957).

Metsänhoidon peruseräite Ruissalossa on 1990-luvulta lähtien ollut lehtoalueiden säilyttäminen jalopuiden kasvua parantavin toimin. Tammi- ja koivumetsiä pyritään lisäämään suosimalla tammea metsänkasvatuksessa ja uudistamisessa, sekä hoitamalla jalopuumetsiä niiden ekologian mukaisesti.

Ruissalossa sijaitsevat maamme laajimmat ja arvokkaimmat tammi- ja lehtometsät. Saaren maankäyttö on ollut muusta Suomesta huomattavasti poikkeavaa viimeiset 500–600 vuotta (Ruissalon hoito- ja käyttösuunnitelma 2006). Historiansa ja Suomen olosuhteissa poikkeavan kasvillisuutensa takia Ruissalo on erittäin mielenkiintoinen tutkimuskohde. Vaikka tammi näyttää määrällisesti lisääntyneen 50 viime vuoden aikana, ei tämän tutkimuksen

kannalta kiinnostavien järeiden tammien lukumäärä lisääntynyt samaa vauhtia. Niiden kehittyminen on vienyt vuosisatoja, joten jo olemassa olevien puuyksilöiden kartoittaminen on olennaista järeiden tammien jatkumon ylläpitämiseksi. Kartoitustarve sekä hoitotoimien parempi kohdentaminen ovat syynä kaukokartoituksellisen menetelmän kehittämiseen puiden tunnistamiseksi.

2.2 Koeala-aineisto

Ruissalosta kerättiin 33 koealan maastoaineisto heinäkuussa 2007. Koealoja käytettiin opetusaineistona laajempaa koealueen tulkintaa varten harjoiteltaessa. Koeala oli 9 metrin kiinteäsäteinen ympyrä. Koealojen tarkat sijainnit määritettiin kiintopisteverkon avulla. Turun kaupungin runkopisteverkon kahta tunnettua pistettä käyttäen mitattiin takymetrillä jokaisen koealan keskipisteen sijainti. Mittauksen suoritti Turun kaupungin Kiinteistöliikelaitoksen mittausryhmä, joka arvioi mittauksen tarkkuudeksi (xy) noin 10 cm. Joillakin koeloilla jouduttiin mittajonoon tekemään sivuttaissiirtoja puiden takia, jolloin mittaustarkkuus heikkeni. Puita ei kaadettu tutkimuksen takia kuin vähäisessä määrin.

Koealat pyrittiin sijoittamaan kuviotietoja apuna käyttäen mahdollisimman kattavasti erilaisiin tammimetsiköihin. Sijoittelussa keskityttiin metsiköihin, joissa on tammien lisäksi muita lehtipuita ja jotka ovat tyypillisiä Ruissalossa. Lehtipuusekoitus valittiin kahdesta syystä; ensinnäkin ilmakuvatulkinnassa muut (jalot) lehtipuut ovat suurimmalla todennäköisyydellä niitä, jotka sekoitetaan sävyarvojen ja tekstuurin perusteella tammiin, sekä toiseksi, lehtipuusekametsät ovat Ruissalon yleisimpiä metsätyyppejä.

Koealojen sijoittelussa huomioitiin myös tammien ikä, koska tutkimuksessa ollaan pääasiassa kiinnostuneita kaikkein vanhimmista tammista (ikä yli 200 vuotta). Suurin osa koealoista sijoitettiin metsiin, joissa oli yli 200-vuotiaita tammia joko pää- tai sivupuulajina. Osa koealoista sijoitettiin myös metsiköihin, jossa oli nuoremman ikäluokan tammia (50–100-vuotiaita). Kontrollin vuoksi koealoja sijoitettiin myös metsiin, jossa ei ollut lainkaan tammia.

Koealalle määritettiin pienpuuston eli alle 10 cm:n läpimittaisten puiden määrä karkeasti joko alle tai

yli 500 runkoa hehtaarilla. Koealan sisälle osuvista tammista mitattiin rungon suunta ja etäisyys koealan keskipisteeseen, jotta jokaiselle tammelle voitiin laskea sijainti tunnettujen koealakoordinaattien perusteella. Kaikista tammista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja kaikista muista yli 10 cm:n läpimittaisista puista määritettiin puulaji. Sekä tammille että muille puille määritettiin puukohtaisesti myös puuluokka (elävä/kuollut), sekä puujakso (vallitseva/aluspuu). Maastossa mitattujen tietojen avulla laskettiin koealoille puulajeittaiset runkoluvut. Koeala-aineiston läpimitaltaan vähintään 10 cm paksuista puista 23,7 % oli tammia.

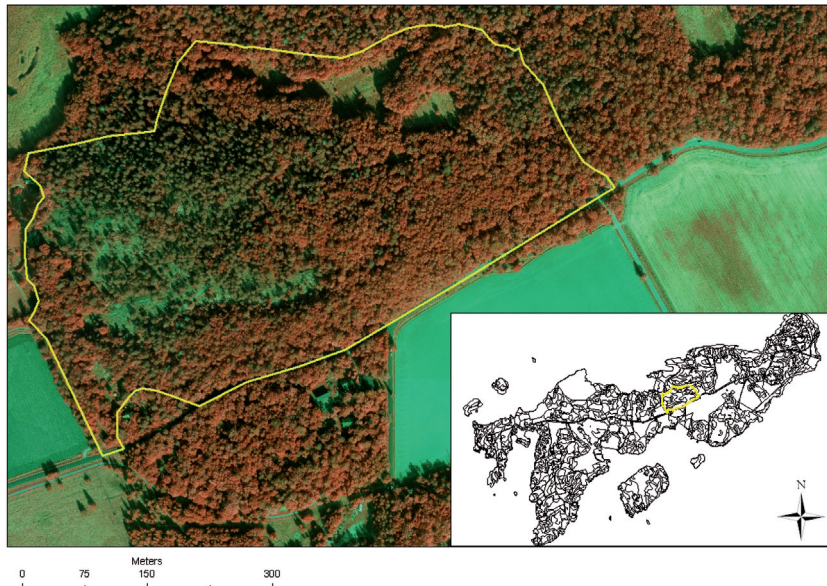
2.3 Ilmakuvatulkinnan koealue ja tarkastusmittaukset

Ruissalosta valittiin laajempi 24 hehtaarin kokoinen yhtenäinen koealue, jolle visuaalinen ilmakuvatulkinta toteutettiin (kuva 1). Koealueelle tehdyn visuaalisen tulkinnan jälkeen alueelle tehtiin tarkastusmittaukset maastossa syyskuussa 2008. Tarkastusmittaukset toteutettiin siten, että koko alue käytiin läpi systemaattisesti linjoittain. Linjavälinä käytettiin 50 metriä. Tarkastusmittausten tarkoituksena oli selvittää maastossa jokaisen kuvatulkinnalla tulkitun tammien puulajin oikeellisuus, sekä paikantaa tulkinnassa havaitsematta jääneet tammien.

Jokaiselta stereokuvatulkinnalla tunnistetulta tammelta tarkastettiin oikea puulaji ja läpimitta. Lisäksi paikannettiin ja mitattiin kyseiseltä alueelta kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan yli 30 cm paksut tammien, joita ei ollut tunnistettu kuvalta. Läpimittarajaksi valikoitui 30 cm, koska tällöin tammien lukumäärä pysyi vielä kohtuullisena. Kuvalta löytymättä jääneiden tammien paikantamisen apuna käytettiin gps-maastotalenninta. Latvuksen tarkka sijaintipiste määritettiin kuitenkin ilmakuvan avulla, koska tiheän latvuspeittävyuden takia gps-paikannus ei toiminut vaaditulla tarkkuudella.

2.4 Ilmakuva-aineisto

Ilmakuvat oli otettu syyskuun alussa vuonna 2005 lehden vielä ollessa puussa. Kuvauksessa käytettiin digitaalista Vexcel UltraCamD -ilmakuvakameraa



Kuva 1. Visuaalisen tulkinnan koealue Turun Ruissalossa.

ja kuvaus suoritettiin noin 1 700 metrin korkeudelta. Tutkimuksessa käytettiin sekä CIR (vääräväri) että RGB (luonnonväri) -kuvia joiden spatiaalinen resoluutio oli 15 cm. Spatiaalinen tarkkuus vastaa Vexcel UltraCamD -kameran pankromaattisen kameran tarkkuutta, koska työssä käytetyt kuvat olivat pantarkennettuja. Kuvatoimittaja (Blom Kartta Oy) toimitti kuville myös ulkoisen orientointitiedon.

3 Menetelmät

Tammien tunnistamiseen ilmakuvilta valittiin menetelmäksi visuaalinen kuvatulkinta. Tulkinta tehtiin stereokuvilta, koska kolmiulotteinen näkymä tarjoaa parhaat mahdollisuudet erottaa tammets muista puista. Stereokuvaa tulkittaessa voidaan hyödyntää puutason ominaisuuksia kuten puun pituutta puulajien tunnistamisessa. Koska tässä tutkimuksessa käytetyt kuvat ovat spatiaaliselta tarkkuudeltaan hyviä (15 cm), voidaan puulajin tunnistuksessa käyttää apuna pieniäkin yksityiskohtia.

Stereotulkinta tehtiin Leica Photogrammetry Suite (LPS) -ohjelmistolla. Stereokatselussa käytettiin periaatetta, jossa vasenta ja oikeaa kuvaa

vuorotellaan näytöllä. Visuaalinen tulkinta koostui kolmesta osasta. Ensin käytiin läpi opetusaineisto, tämän jälkeen tehtiin harjoittelutulkinta ja viimeiseksi tehtiin laaja tulkinta valitulle koealueelle. Kolmasosaa tammaa sisältävistä koealoista käytettiin opetusaineistona stereokuvatulkintaa harjoiteltaessa. Harjoitteluun valikoitui 9 koealaa, joiden tammets käytiin läpi yksitellen. Erityisesti kiinnitettiin huomiota tammets latvuksen ulkonäköön, esimerkiksi latvuksen muotoon, sävyyn ja tekstuuriin, joiden avulla tammets voitaisiin erottaa muista lehtipuista. Tammets tunnistamista harjoiteltaessa oletettiin kohdattavan ne ongelmat, joita Ruissalon tammets tunnistamisessa voi esiintyä.

Loput tammaa sisältäneet koealat (16 kpl) toimivat harjoitustulkinta-aineistona. Stereokuvalla nähtiin vain koealojen keskipisteet, joiden ympärillä olevalle alueelle tehtiin tulkinta samalla tavalla, kuin se tulitaisiin toteuttamaan laajemmalle tulkinta-alueellekin. Harjoitustulkinnassa pyrittiin paikallistamaan kaikki tammetspuut. Harjoitusaineiston käsittelyn jälkeen toteutettiin visuaalinen tulkinta laajemmalle yhtenäiselle alueelle käyttäen harjoitustulkinnassa vakiintuneita käytäntöjä. Alueelta tulkittiin vastavasti kaikki tammets.

Luokituksen hyvyttä tarkasteltiin tammets oi-

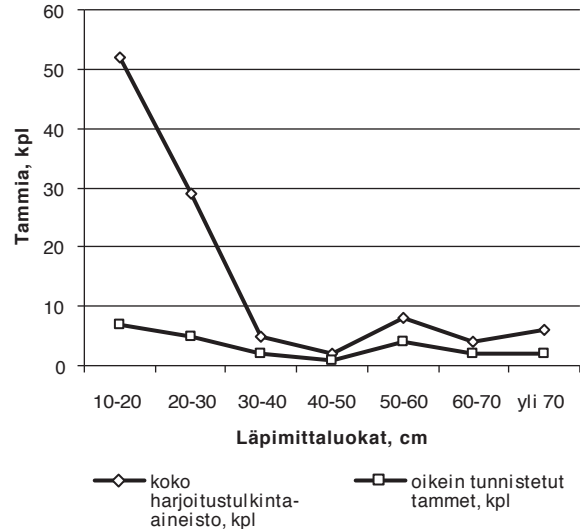
keinluokitusprosentin avulla. Oikeinluokitusprosentin lisäksi kuvaavia tunnuslukuja ovat omissio- ja kommissiovirhe. Omissiovirhe tarkoittaa niitä havaintoja, jotka kuuluvat tarkasteltavaan luokkaan, mutta ovat virheellisesti luokiteltu toiseen luokkaan. Tässä työssä omissiovirhe muodostuu niistä tammista, joita ei tunnistettu stereokuvatulkinnalla, vaan ne löydettiin maastomittausten perusteella. Kommissiovirhe puolestaan tarkoittaa niitä havaintoja, jotka eivät kuulu tarkasteltavaan luokkaan, mutta ovat kuitenkin virheellisesti luokiteltuneet siihen, eli tässä työssä ne tammet, jotka on stereokuvatulkinnalla tunnistettu tammiksi, mutta jotka maastomittausten perusteella ovat osoittautuneetkin olevan jotakin muuta puulajia. Tunnuslukuja laskettaessa täytyy lisäksi muistaa, että aineistosta puuttuu luokka, jossa muut puulajit kuin tammi on tunnistettu oikein. Koealueen tulkinnassa tietoa luokan suuruudesta ei ollut, mutta oikeinluokitusprosentin käytettävyyttä koealueella tarkasteltiin koeala-aineiston tammien osuuden avulla.

4 Tulokset

4.1 Opetusaineisto ja harjoitustulkinta

Opetusaineistoa tarkasteltiin sekä CIR- että RGB-kuvilla. Tarkastelussa kävi ilmi, että tammi erottui paremmin CIR-kuvilla. Opetusaineistossa tammien keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta oli 53 cm ja vaihteli välillä 15 cm ja 85 cm. Harjoitustulkinta toteutettiin ensin CIR- ja sitten RGB-kuville. RGB-kuvien ei tässäkään vaiheessa todettu tuovan lisäinformaatiota tulkintaan. Harjoitustulkinnassa tunnistettuja tammia verrattiin maastossa mitattuihin tammisiin (taulukko 1).

Taulukon 1 mukaan tunnistamatta jäi tammista huomattava osa. Taulukossa 1 ”Tunnistamattomista



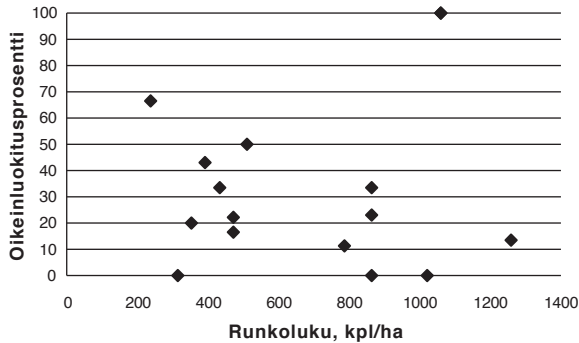
Kuva 2. Harjoitustulkinnassa käytettyjen maastokoealojen tammien läpimittajakauma sekä oikein tunnistetut tammet läpimittaluokittain.

tammista alle 30 cm” -sarakeessa ovat ne tammet, joita ei löydetty kuvalta tulkinnassa ja joiden rinnankorkeusläpimitta on alle 30 cm. Tällaisia tammia oli tunnistamatta jääneistä suurin osa, mutta niiden merkitys työn kannalta on vähäisempi. Noin 17 % tunnistamatta jääneistä tammista oli läpimitaltaan yli 30 cm. Kuvasta 2 nähdään, että kaikkiaan harjoitustulkinnan tammien läpimittajakauma oli paljolti painottunut juuri pieniin tammisiin, sillä 106 tammesta puolet sijoittui pienimpään läpimittaluokkaan.

Harjoitustulkintaan kuuluneiden koealojen oikeinluokitusprosentit koealan runkoluvun suhteen on esitetty kuvassa 3. Kuvasta voidaan havaita lievää suuntausta, jonka mukaan pienimmillä runkoluvuilla tulkinta onnistui paremmin. Aineisto sisälsi kaksi koealaa, joiden runkoluku oli suuri, mutta oikeinluokitusprosentti oli 100. Kummassakin tapauksessa koealalla oli vain yksi tammi, joka oli tulkinnassa

Taulukko 1. Harjoitustulkinnan onnistuminen.

	Maaston mukaan tammia	Oikein tunnistettu tammi	Virheellisesti tulkittu tammi	Tunnistamatta jäänyt tammi	Tunnistamattomista tammista alle 30 cm
Tammia, kpl	106	23	27	83	69
Tammia, %	100	21,7	25,5	78,3	83,1



Kuva 3. Harjoitustulkinnan koalojen tammien oikeinluokitusprosentit koaloittaisen runkoluvun funktiona.

tunnistettu kovalta oikein. Jos nämä kaksi poikkeusta jätetään huomiotta, suunta on selkeämmin havaittavissa. Tulkittaessa kuvaa täytyy kuitenkin ottaa huomioon otoksen pieni koko. Tammien määrä koalalla vaihteli välillä 1–18, mutta mielenkiinnon kohteena olevia järeitä tammia (läpimitta yli 30 cm) oli koaloilla vain 0–2 kappaletta.

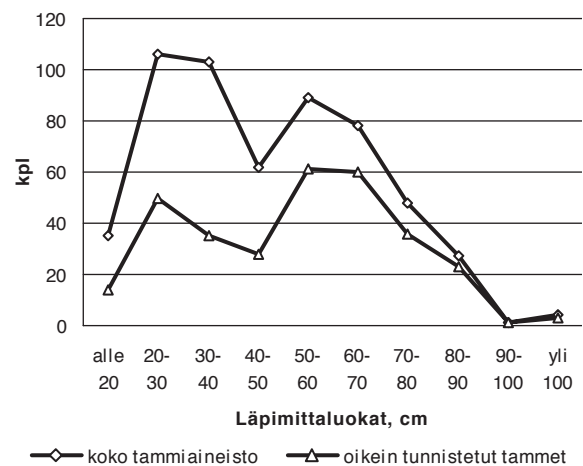
Harjoitustulkinnassa kävi selkeästi ilmi, että pienempiä tammia on vaikeampi tunnistaa stereokuvasta (kuva 2). Lisäksi harjoitustulkinnassa esiintyi kaksi tapausta, jossa useampi pieni latvus tulkittiin kuvalla yhdeksi isoksi. Kummatkin tapaukset esiintyivät koalalla, jossa oli runsaasti nuoria tammia. Kummatkin tapaukset tulkittiin laskennassa siten, että tammi jäi tunnistamatta, koska kovalta tulkitessa virheellisesti tulkittiin kyseessä olevan yhden suuremman tammien, vaikka todellisuudessa lähellä kasvoi monia nuoria tammia. Koska kaksi pienintä läpimittaluokkaa aiheutti kaikista selvimmän ongelmia tulkinnan kannalta, kohdennettiin laajempi tulkinta vain läpimitaltaan 30 cm ja sen yli oleviin tammisiin. Tällöin myös tulkittavien ja maastossa mitattavien tammien lukumäärä pysyy kohtuullisena.

4.2 Koalueen tulkinta

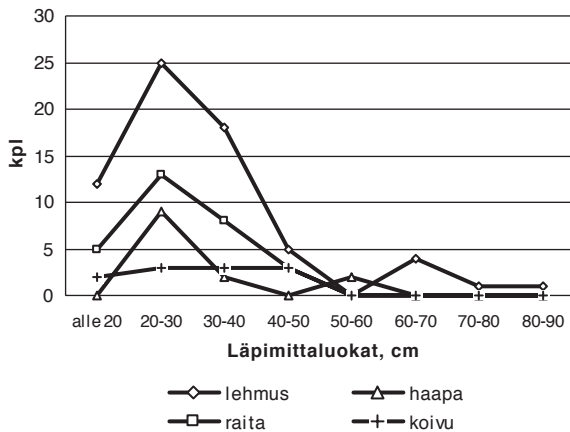
Stereokuvatulkinnalla tulkittua koaluetta löydettiin 472 tammia tai tammeksi virheellisesti tulkittua puuta. Maastomittauksissa löydettiin lisäksi 113 stereotulkinnassa tunnistamatonta tammia. Oikein tunnistettuja tammia oli koalueella 311 kpl. Oikein

tunnistetuksi tammeksi luettiin kaikki kovalta tammeksi oikein tunnistetut puut, vaikka ne maastotarkastuksen mukaan olisivat jääneet alle 30 cm:n rajan. Pienin oikein tunnistettu tammi oli läpimitaltaan 10 cm. Verrattaessa oikein tunnistettujen tammien läpimittajakaumaa koko tammiaineiston läpimittajakaumaan (kuva 4) huomataan, että pienimmät tammukset ovat luokituneet huomommin, esim. kokoluokassa 20–30 cm on yli 50 tammien ero. Luokassa 50–60 cm on vielä myös melkein 30 tammien ero. Ero kuitenkin pienenee läpimitan kasvaessa.

Väärin tunnistetut tammukset jaettiin kahteen erilliseen ryhmään: puihin, jotka on kovalta tunnistettu tammiksi mutta jotka eivät maastotarkastuksen mukaan olleet tammia, ja puihin, jotka maastotarkastuksen mukaan olivat tammia, mutta jotka jäivät kovalta tulkitsematta. Taulukossa 2 on listattu stereokuvatulkinnassa tammeksi tulkittujen puiden puulajijakauma todellisuudessa. Eniten tammien kanssa sotkeutui metsälehmus, joita oli 41 % kaikista väärin tulkituista puista. Toiseksi suurimman ryhmän muodostivat tapaukset, joissa kuvatulkinna latvus tulkittiin kahdeksi erilliseksi tammeksi, mutta todellisuudessa kyseessä oli yksi iso puu. Tässä tapauksessa toiselle tulkituista tammista ei löydy maastosta lankaan vastinetta. Kolmas suurempi ryhmä, johon tammi sotkeutui, oli raita. Tammiksi virheellisesti tulkittuja raitoja oli noin 17 % kaikista väärin tulkituista puista.



Kuva 4. Koalueen tammiaineiston läpimittajakauma sekä oikein tunnistetut tammukset läpimittaluokittain.



Kuva 5. Merkittävimpien tammiksi virheellisesti tulkittujen puulajien läpimittajakaumat.

Tarkasteltaessa tammiksi virheellisesti tulkittuja puulajeja läpimittaluokittain (kuva 5) huomataan, että pienimpiä puita virheellisesti tulkittiin tammiksi useimmin. Tätä selittää osaltaan pienien puiden suuri määrä: koska niitä on metsikössä enemmän, niitä myös virheellisesti tulkittiin tammiksi useimmin. Eniten tammiksi virheellisesti tulkittuja puita sijoittui läpimittaluokkaan 20–30 cm kaikilla muilla puulajeilla paitsi koivulla, jolla oli saman verran puita myös luokissa 30–40 ja 40–50 cm. Stereotulkinnassa tunnistamatta jääneet tammot painottuvat pieniin läpimittaluokkiin ja suuria tammia jää tunnistamatta vain vähän. Periaatteessa suuret tammot erottuvat tulkinnassa paremmin, koska niitä jäi tunnistamatta vähemmän. Tosin suuria tammia on maastossa myös määrällisesti vähemmän, joten suoraa johtopäätöstä menetelmän hyvydestä suurien puiden osalla ei voi tehdä.

Taulukossa 3 on ristiintaulukoitu koko tammiaineisto, sekä kuvatulkittu että maastossa mitatut tammot. Taulukkoa tulkitaan seuraavasti: sarakkeissa ovat kuvatulkinnan tulokset ja riveillä maastotarkastuksen tulokset. Kuvalta tunnistettuja ja maastotarkastuksella tammiksi vahvistettuja puita oli 311 kpl. Kuvalta tammeksi virheellisesti tulkittuja, mutta maastossa muuksi puulajiksi todettuja puita oli 161 kpl. Kuvalta täysin tunnistamatta jääneitä, mutta maastotarkastuksessa löytyneitä tammia oli 113 kpl. Maastotarkastuksissa kartoitettiin vain tammot ottamatta kantaa alueen muiden puulajien

Taulukko 2. Stereokuvalta tunnistettujen tammien oikeellisuus koealueen tulkinnassa.

	Stereokuvatulkinnan oikeinluokitus maastomittausten mukaan	
	kpl	%
Tammi	311	65,9
Lehmus	66	14,0
Raita	29	6,1
Haapa	13	2,8
Koivu	11	2,3
Tervaleppä	5	1,1
Vaahtera	4	0,8
Pyökki	1	0,2
Ei maastovastinetta	32	6,8
Yht.	472	100,0

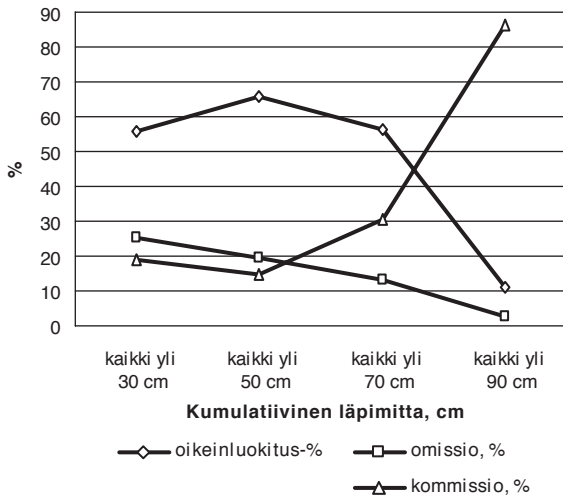
Taulukko 3. Koealueen tammiaineisto ristiintaulukoituna.

	Tulkinnan mukaan tammi	Tulkinnassa tunnistamatta jäänyt tammi	Yhteensä
Maaston mukaan tammi	311	113	424
Maaston mukaan muu puulaji	161	0	161
Yhteensä	472	113	585

runkolukuihin, siksi taulukon 3 viimeisessä solussa on arvo nolla, vaikka todellisuudessa suurin osa alueen puista kuuluisi tähän luokkaan.

Koealueen tammien oikeinluokitusprosentti on 53 %, omissiovirhe 19 % ja kommissiovirhe 27,5 %. Luokittelun hyvyden kuvaamisessa yleensä käytettyä kappa-arvoa ei voitu aineistosta laskea, koska se edellyttäisi tunnettua populaatiota eli kaikkien puiden kartoittamista maastomittausten alueelta (taulukossa 3 solun arvo nolla). Kuvasta 6 voidaan edelleen huomata, että oikeinluokitusprosentti on suurimmillaan silloin, kun tarkastellaan vain yli 50 cm:n puita. Toisaalta oikeinluokitus huononee tarkasteltaessa vain isoja läpimittaluokkia.

Omissiovirhe on näistä kolmesta tutkitusta tammuksesta ainoa, joka on sitä pienempi, mitä suurempia puita tarkastellaan. Tämä tarkoittaa sitä, että stereokuvatulkinnalla löydettiin tammot sitä paremmin, mitä isompia ne olivat. Läpimitaltaan yli

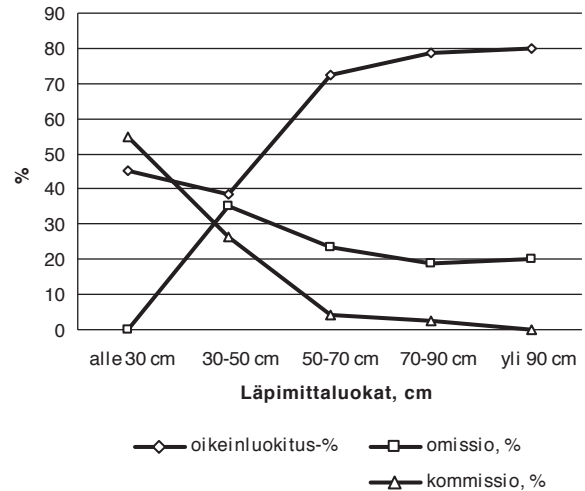


Kuva 6. Tutkimuksessa sovelletut tunnusluvut kumulatiivisen läpimitan suhteen.

90 cm olevista tammista jäi kuvatulkinnalla löytymättä vain 2,7 % kun kaikista läpimitaan yli 30 cm puista vastaava luku oli 25,2 %. Kommissiovirhe on pienimmillään silloin kun tarkastellaan vain läpimitaan yli 50 cm:n puita. Kuitenkin se suurenee sitä nopeammin mitä suurempia puita tarkastellaan.

Oikeinluokitusprosenttia ja kommissiovirhettä läpimittaluokittain tulkittaessa on huomioitava, että niiden laskennassa on läpimitaehdon täyttävien puiden lisäksi otettu mukaan ne puut, jotka on kuvalta tulkittu tammeksi, mutta joilla ei maastossa ole vastinetta lainkaan (32 kpl). Tämä siksi, että näillä ”ei maastovastinetta” -puilla ei ole läpimitaa, joten niitä ei voi lukea kuuluvaksi mihinkään läpimittaluokkaan. Tästä syystä ne on otettu mukaan jokaiseen tarkasteluun. Tulokset eivät olisi oikeellisia, jos ne jätettäisiin laskennasta pois kokonaan. Näiden ilman maastovastinetta olevien puiden takia oikeinluokitusprosentti ja kommissiovirhe huononevat merkittävästi sen mukaan, mitä suurempia puita tarkastellaan, koska tällöin niiden suhteellinen osuus kaikista tarkasteltavana olevista puista kasvaa.

Kuvassa 7 on tarkasteltu tunnuslukuja läpimittaluokittain. Tarkastelussa on jätetty pois edellä mainitut kuvatulkinnassa tammeksi tulkitut puut, joille ei ollut lainkaan vastinetta maastossa (32 kpl). Poisjätö tapahtui siitä syystä, että näille ”ei maastovastinetta” -puille ei ole määritetty läpimitaa, jolloin niitä ei



Kuva 7. Tutkimuksessa sovelletut tunnusluvut läpimittaluokittain.

pystytä sisällyttämään mihinkään luokkaan. Niitä ei voida myöskään sisällyttää jokaiseen luokkaan, koska luokat ovat toisensa poissulkevia. Näin ollen kuvan 7 esittämät tulokset ovat lieviä yliarvioita menetelmän toimivuudesta.

Oikeinluokitusprosentti paranee nopeasti luokkaan 50–70 cm, jonka jälkeen paraneminen hidastuu. Omissiovirhe on nolla läpimittaluokassa alle 30 cm, koska maastosta mitattiin vain yli 30 cm olevat tammets. Omissiovirhe on suurimmillaan 35 % läpimittaluokassa 30–50 cm. Vaikka se paranee selvästi suuremmissa läpimittaluokissa, ei se kuitenkaan laske alle 19 prosenttiin. Kommissiovirhe on suurimmillaan 55 % läpimittaluokassa alle 30 cm. Se pienenee nopeasti luokkaan 50–70 cm asti, minkä jälkeen pieneminen hidastuu.

Kuvan 7 tulosten perusteella läpimittaluokasta 50–70 cm muodostuu selkeä kynnysluokka, jonka jälkeen tunnusten paraneminen hidastuu. Voisi siis kuvitella, että menetelmällä saataisiin parempia tuloksia, jos tarkastelu kohdennettaisiin vain yli 50 cm paksuihin tammiin.

4.3 Harjoitustulkinnan ja koalueen tulkinnan vertailu

Tammien oikeinluokitusprosentti parani harjoitustul-

Taulukko 4. Harjoitustulkinnan ja koealueen tulkinnan tunnusluvut.

	Harjoitustulkinta	Koealue
Oikeinluokitus-%	21,7	53,2
Kommissiovirhe, %	25,5	27,5
Omissiovirhe, %	78,3/16,9	19,3

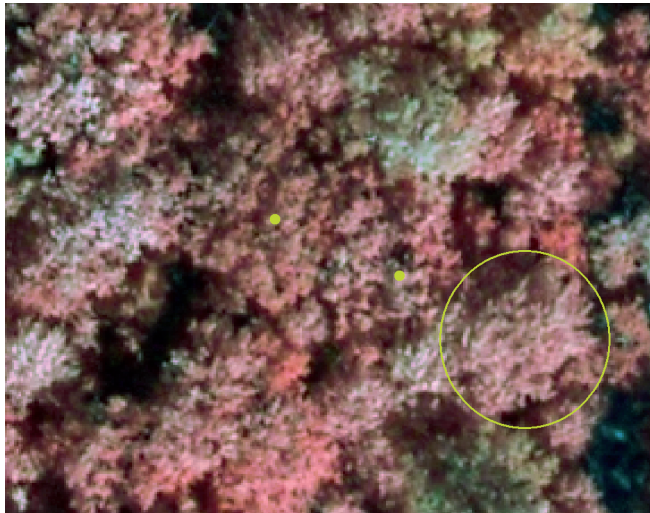
kinnan ja koealueen tulkinnan välillä (taulukko 4). Omissiovirhettä vertailtaessa täytyy muistaa, että laajemmassa tulkinnassa tammien läpimittaraja maastomittauksissa oli 30 cm, kun taas harjoitustulkinnassa raja oli 10 cm. Vertailukelpoisuutta parantamaan on taulukkoon laskettu myös harjoitustulkinnan omissiovirhe huomioitaessa vain yli 30 cm läpimitaltaan olevat tammet. Harjoitustulkinnan omissiovirhe oli kaikki tammet huomioiden 78,3 %, ja vain läpimitaltaan yli 30 cm olevat tammet huomioiden 16,9 %.

4.4 Tammien tulkinnan ominaispiirteet

Tämän tutkimuksen perusteella laajalatuksisten tammien tärkeimpiä erotuksellisia piirteitä olivat lyhyys, latvuksen muoto, väri ja sävy sekä latvuksen sisäinen tekstuuri. Lyhyytensä avulla tammen erottaa koivusta ja

haavasta, koska ne kasvavat huomattavasti pidemmiksi. Tammen lyhyys myös vaikeuttaa erottamista, koska sen latvus jää ilmakuvalla usein kokonaan pidempien puiden latvusten varjoon. Latvuksen ympäryksen muoto on tammella pyöreä, jos kasvupaikka ei ole liian tiheä. Usein latvus on kuitenkin hyvin soikea tai toispuoleinen juuri kilpailun takia. Latvuksen kolmiulotteinen muoto on aukeilla paikoilla kasvaneilla tammilla pallomainen. Metsiköissä kasvaneen tammen latvus on päältä melkein tasainen. Latvan tasaisuus onkin yksi paljon käytetyistä erotuspiirteistä. Latvuksen värisävy ja tekstuuri ominaisuudet ovat myös erittäin tärkeitä tunnistamisen kannalta. Tammet ovat CIR-kuvilla melko tumman punaisia metsikön sisällä kasvaessaan. Avoimella paikalla latvus saattaa olla hyvin vaalean sävyinen.

Kuvassa 8 on osa oikaisematonta CIR-ilmakuvaa, jollaisia stereomallin muodostamisessa käytettiin. Tammen latvuksen oksat näkyivät pehmeinä pallomaisina muotoina, joissa ei esiintynyt teräviä reunoja, kuten esimerkiksi haavalla (keltainen ympyrä kuvassa 8). Latvuston seassa erottui usein myös paljasta oksarungon puuta. Kuvassa 8 näkyy kaksi kookasta tammea (keltaiset pisteet). Jopa kaksiulotteisesta kuvasta voidaan havaita tammien tasainen latvuksen muoto sekä lyhyys tarkkailemalla latvojen valoisuutta. Ympäroivissä puissa voidaan nähdä kirkkaampia kohtia, joten nämä ovat korkeammalla osuen valoon.



Kuva 8. Esimerkki tammien ulkomuodosta sekä ominaispiirteistä. Keltaisen ympyrän sisällä haava, keltaiset pisteet kookkaita tammeja.

5 Tulosten tarkastelu

Ensin toteutetussa harjoitustulkinnassa tarkoitus oli opetella tulkinnan ja tammen tunnistamiset rutiinit. Sitä tehdessä harjoiteltiin stereotulkintaa ja kalibroitiin tulkitsijan silmää tunnistamaan tammia erilaisissa metsiköissä. Harjoitustulkinnan tuloksia ei voi verrata suoraan laajempaan koalueen tulkintaan, koska koalojen maastomittaukset oli tehty ennen tulkintaa, jolloin tulkitsijalla oli alueista jonkinlainen ennakkokäsitys. Tämä oli kuitenkin tarkoituksenmukaista erilaisten tilanteiden tunnistamisen kannalta. Koska tammien oikeinluokitusprosentti parani harjoitustulkinnan ja koalueen tulkinnan välillä, ei tulkinnan harjoittelu ollut tarpeetonta.

Koska vain hieman yli puolet koalueen tammista luokitui oikein, ei luokituksen onnistumista voida pitää kovin hyvänä. Tulos on myös huonompi kuin aiemmissa Suomessa tehdyissä visuaalisen puulajitulkinnan tutkimuksissa (Korpela ym. 2007). Toisaalta havu- ja lehtipuiden erottelu sekä myös männyn ja kuusen keskinäinen erottelu on huomattavasti helpompaa kuin lehtipuiden keskinäinen erottelu. Koalueen koko puuston oikeinluokitusprosentti olisi tässäkin tutkimuksessa ollut huomattavasti korkeampi kuin nyt esitetty 53%, mutta sitä ei pystytty laskemaan, sillä tulkinta kohdistui pelkästään tammiin. Jos oletetaan, että koalueen puustosta suurin piirtein sama osuus on tammia kuin koala-aineistossakin (n. 24 %), voidaan kuitenkin päätellä, että nyt esitetty oikeinluokitusprosentti kuvaa tammien tunnistusta suhteellisen hyvin. Tuloksia tarkasteltaessa on lisäksi pidettävä mielessä tutkitun menetelmän käyttötarkoitukset. Suurimman kiinnostuksen kohdistuessa järeisiin vanhoihin tammiin ja tarkoituksen ollessa lähinnä kartoittaminen ja hoitotoimien kohdistamisen helpottaminen, voidaan menetelmän virheitäkin tarkastella sen mukaisesti.

Muita merkityksellisempänä virheenä voidaan pitää sitä, että tammi, erityisesti järeä tammi, jää kokonaan tunnistamatta stereotulkinnalla. Esimerkiksi läpimitaltaan yli 80 cm olevia tammia on jäänyt koalueen stereotulkinnassa tunnistamatta yhteensä 4 kappaletta (kuva 6). Kuten aikaisemmin on jo todettu, tähän vaikuttaa suurten tammien absoluuttinen vähyyks pienempiin verrattuna, mutta menetelmän käytettävyyden näkökulmasta tulos on siedettävä.

Hieman lievempänä virheenä voidaan pitää sitä,

että stereotulkinnassa latvus on tulkittu kahdeksi erilliseksi puuksi, vaikka todellisuudessa paikalla kasvaa vain yksi suuri tammi. Tämä pätee myös toisin päin, eli kahta lähekkäistä latvusta on tulkinnassa virheellisesti tulkittu yhdeksi suureksi tammeksi. Vaikka näissä tapauksissa tuotetaan väärää tietoa tammen koosta, voidaan puulajin oikean tunnistamisen katsoa olevan tärkeämpää ja virhe on helppo korjata esimerkiksi hoitotoimenpiteisiin liittyvien maastovierailujen yhteydessä.

Virhettä voidaan pitää lievempänä myös niissä tilanteissa, joissa metsälehmus virheellisesti tulkittiin stereotulkinnassa tammeksi. Metsälehmuksen viihtyminen usein samalla alueella tammen kanssa toimii indikaattorina tammen läsnäololle. Vähiten haittaa on virheestä tapauksissa, joissa vanhan järeän metsälehmuksen tulkittiin virheellisesti olevan vanha järeä tammi, koska myös vanhoihin lehmuksiin liittyy samanlaisia luontoarvoja kuin vanhoihin tammiin. Tammen sekoittuminen lehmukseen perustuu siihen, että lehmus on runkomuodoltaan hyvin samankaltainen tammen kanssa. Tämä aiheuttaa sen, että latvuksen tekstuuri on melkein identtinen tammen kanssa. Lisäksi niiden värisävyt väärävärikuvalla ovat lähellä toisiaan.

Ongelmallisena virhettä voidaan pitää tilanteissa, joissa stereotulkinnalla tammeksi tunnistettu puu onkin todellisuudessa jotakin jalopuita arvottomampaa puulajia kuten raitaa, haapaa tai koivua. Tammen sekoittuminen raitaan aiheutuu mitä luultavimmin raidan kasvutavasta. Raita kasvaa avoimella kasvupaikalla monihaaraiseksi ja leveälatvuksiseksi tai pensasmaiseksi (Holmäsen 1991). Usean kimpussa kasvavan ohuen rungon latvat muodostavat yhden yhtenäisen leveän pallomaisen latvuksen. Tämä on helppo sekoittaa tammen leveään latvaan. Myös puiden värisävyt ovat lähellä toisiaan.

Ruissalossa on vuonna 2004 käynnistetty tehostettu tammen hoito-ohjelma. Sen toteuttamisen aikana on havaittu alikasvustossa esiintyvän vaahteran haittaavan voimakkaasti tammen uudistumista. Tämä on vahvistunut nyttemmin, kun hoitotoimenpiteisiin on laajemmassa määrin ryhdytty. Tässä tutkimuksessa suuret tammet sekoittuivat suuriin vaahteroihin vain hyvin harvoin.

Lähtökohtaisesti stereotulkinta on menetelmänä subjektiivinen ja tulkitsijasta riippuvainen. Tulkitsijan kokemus on tästä syystä erittäin tärkeässä roolissa

tulkinnan onnistumisessa. Tulkinnan onnistumista voidaan parantaa monella keinolla. Niistä tärkeimpänä on tulkitsijan maastokäynneillä hankittu kokemusperäinen ennakkotieto tulkittavasta alueesta. Keskeisessä roolissa ovat mahdollisimman monipuoliset opetuskoealat, joilla tunnistamista opetellaan ja joita käydään läpi myös tulkinnan välillä.

Tulkinnan tulosta voidaan parantaa myös maastokäynneillä, joita tehdään tulkinnan aikana. Myös tulkittavasta alueesta saatavalla ennakkotiedolla, esimerkiksi metsikkökuvioilla, voidaan parantaa tulkinnan onnistumista. Kuviotiedoissa apua saadaan muun muassa tammien ikäluokittaisesta runkoluvusta, joka kertoo suurpiirteisen tammien määrän kullakin kuvioilla. Kuviotiedoista on myös apua ennen tulkinnan aloittamista, koska niiden avulla tulkinta voidaan kohdentaa vain alueille, joilla tammaa esiintyy.

Työn yhtenä tarkoituksena oli tulkinnassa kertyneen kokemuksen myötä kerätä yhteen niitä ominaisuuksia, joita tammien tunnistamisessa käytettiin. Laajalatuksisten tammien keskeisimmiksi erotukselliseksi piirteiksi osoittautuivat lyhyys, latvuksen muoto, väri ja sävy sekä latvuksen sisäinen tekstuuri. Nämä piirteet koskevat vain vanhoja järeitä tammia, joiden latvus on selvästi erotettavissa. Pienempien läpimittaluokkien tammien latvukset ovat hyvin kapeita ja näyttävät stereokuvalla lähinnä hammastikkumaisilta.

Tammien värisävy määräytyy kuvalla monen tekijän summana. Ensinnäkin säteilyn kulkemisella kasvustossa on tärkeä merkitys. Latvukseen osuessaan osa auringon säteilyenergiasta heijastuu suoraan lehdistä takaisin sensoriin, osa absorboituu eli sitoutuu latvukseen ja osa läpäisee sen. Kasvuston geometrialla on suuri merkitys sille, kuinka paljon energiasta heijastuu sensoriin. Tiheässä kasvustossa enemmän säteilyä absorboituu kasvillisuuteen ja vähemmän kulkeutuu sen läpi (heijastussuhde pienenee). Kuvalla tiheet kasvustot näyttävät tästä syystä tummempina. Väljemmässä kasvavien puiden latvukset läpäisevät enemmän säteilyä, jolloin sitä heijastuu myös maasta takaisin latvustoon ja siitä sensoriin, aiheuttaen kuvalla vaaleamman sävyn (Lillesand ym. 2007, Stenberg 1996).

Myös kuvausajankohdalla on merkitystä tammien värisävyyden. Terve kasvillisuus heijastaa lähi-infrapun taajuudella (aallonpituus 0,7–1,3 µm) 40–50 % auringon lähettämästä energiasta. Suuri heijastavuus näillä

aallonpituusalueilla johtuu lehtien ominaisuuksista ja vaihtelee paljon eri lajien välillä. Key (1999) on tutkinut kuvausajankohdan merkitystä puiden spektraalisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksen mukaan puiden fenologialla, eli lehtien puhkeamisjärjestyksellä, kasvukauden kuluessa muuttuvilla lehtien ominaispiirteillä, kuten värillä ja koolla, sekä syksyllä lehtien vanhenemisella ja varisemisella, on tärkeä merkitys puulajien erottamisessa toisistaan spektraalisten tekijöiden perusteella. Parhaaksi kuvausajankohdaksi lehtipuiden (*Liriodendron tulipifera*, *Quercus alba*, *Quercus rubra*) erottamiseen osoittautui tässäkin tutkimuksessa käytetty kuvausajankohta eli syksy.

Tässä työssä esitetyt tulokset tammien tunnistamisen tarkkuudesta, tammien sekoittumisesta muihin lehtipuihin ja tammien tunnistamisominaisuuksista koskevat ensisijaisesti Ruissalon tammia, mutta niitä voidaan rajoitetusti yleistää myös muille etelärannikon tammialueille. Täytyy kuitenkin muistaa Ruissalon ainutlaatuisuus Suomen luonnossa. Näin ollen Ruissalon ja muiden alueiden välillä on huomattavia eroja käsittelyhistoriassa, kasvupaikoissa, metsien rakenteessa ja puulajikoostumuksissa.

Tämän tutkimuksen jälkeen kaikille Ruissalon tammivaltaisille metsille tehtiin visuaalinen tulkinta, jonka tuloksena saatiin 4041 tammien sijaintitieto. Tulkinnan onnistumisesta ei ole kuitenkaan käytössä luotettavuustietoja. Turun kaupunki hyödyntää aineistoa kohdistamalla hoitotoimenpiteitä yksittäisten tammien tasolle sekä selvittämällä esimerkiksi EU:n direktiivilajien esiintymistä tammissa

Kirjallisuus

- Alanen, A. 1996. Jalopuumetsien lajistollinen monimuotoisuus. Julkaisussa: Jalopuumetsät. Dendrologian seura. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Jyväskylä. s. 17–22.
- Antikainen, M. 1992. Tammimetsien hoito. Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja 1. 105 s.
- Anttila, P. 1998. Analyttisellä stereoplotterilla ilmakuvasta tulkittujen puukohtaisten tunnusten tarkkuus. Metsäsuunnittelun ja -ekonomian pro gradu. Joensuu. 36 s.
- Ek, T. & Johannesson, J. 2005. Multi-purpose management of oak habitats. Examples of best practice from

- the county of Östergötland, Sweden. Nörrköping. 101 s.
- Hájek, F. 2008. Process-based approach to automated classification of forest structures using medium format digital aerial photos and ancillary GIS information. *European Journal of Forest Research* 127(2): 115–124.
- Holmåsén, I. 1991. Pohjolan puut ja pensaasat. Stenströms Interpublishing AB, Lund. 177 s.
- Holopainen, M., Lukkarinen, E. & Hyypä, J. 2000. Metsän kartoitus lentokoneesta. Helsingin yliopiston Metsävarojen käytön laitoksen julkaisu 26. 65 s.
- Hämet-Ahti, L., Palmén, A., Alanko, P. & Tigerstedt, P. M. A. 1992. Suomen puu- ja pensaskasvio. 2. uudistettu painos. Dendrologian seura, Helsinki. 373 s.
- Key, T.L. Jr. An evaluation of the relative value of spectral and phenological information for tree crown classification of digital images in the eastern deciduous forest. Saatavissa: http://wvusolar.wvu.edu:8881/exlibris/dtl/d3_1/apache_media/4598.pdf. [Viitattu 3.10.2009].
- Kiuru, H. 1996. Jalopuumetsien hoito. Julkaisussa: Jalopuumetsät. Dendrologian seura. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Jyväskylä. s. 56–77.
- Konecny, G. 2003. Geoinformation, remote sensing, photogrammetry and geographic information systems. London. 248 s.
- Korpela, I. 2004. Individual tree measurement by means of digital aerial photogrammetry. *Silva Fennica Monographs* 3. 93 s.
- & Tokola, T. 2006. Potential of aerial image-based monoscopic and multiview single-tree forest inventory: a simulation approach. *Forest Science* 52(2): 136–147.
- , Dahlin, B., Schäfer, H., Bruun, E., Haapaniemi, F., Honkasalo, J., Ilvesniemi, S., Kuutti, V., Linkosalmi, M., Mustonen, J., Salo, M., Suomi, O. & Virtanen, H. 2007. Single-tree forest inventory using Lidar and aerial images for 3D treetop positioning, species recognition, height and crown width estimation. *IAPRS Volume XXXVI, Part 3 / W52*. s. 227–233.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. & Chipman, J.W. 2007. Remote sensing and image interpretation. USA. 756 s.
- Loetsch, F. & Haller, K.E. 1973. Forest inventory, Volume 1. Second Edition. Germany. 436 s.
- Olofsson, K., Wallerman, J., Holmgren, J. & Olsson, H. 2006. Tree species discrimination using Z/I DMC imagery and template matching of single trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(7): 106–110.
- Paine, D.P. & Kiser, J.D. 2003. Aerial photography and image interpretation. Second edition. Wiley. 632 s.
- Quackenbush, L.J., Hopkins, P.F. & Kinn, G.J. 2000. Developing forestry products from high resolution digital aerial imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66(11): 1337–1346.
- Rainio, R. 1979. Menneen ilmastokauden luonnonmuutokset. Julkaisussa: Kallio, P. (toim.). Ruissalo, luontoa ja kulttuuria. Porvoo. s. 20–35.
- Ruissalon hoito- ja käyttösuunnitelma. 2006. Turun kaupunki, kiinteistölaite, Turku. 104 s.
- Stenberg, P. 1996. Metsikön rakenne, säteilyolot ja tuotos. Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisu 15. 68 s.
- Turun kaupungin metsäsuunnitelma. 1957. Turku. s. 27–51.
- Vuorela, N. 2001. Combined use of spatial data: implications for landscape dynamics in an oak woodland site in Southwest Finland. *Annales Universitatis Turkuensis AII* 150. 150 s.

24 viitettä