



ITÄ-SUOMEN
YLIOPISTO

University of Eastern Finland

*Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta
Faculty of Science and Forestry*

KATI SIMASUU-MONILÄHDEINVENTOINNIN
TOIMIVUUDEN TESTAUS TAIMIKOIDEN
METSÄNHOITOTOIMENPIDE-EHDOTUKSIEN TUOTTAMISEEN

Tero Putto

METSÄTIETEEN PRO GRADU
ERIKOISTUMISALA METSÄNARVIOINTI JA METSÄSUUNNITTELU

JOENSUU 2014

Putto, Tero. Kati Simasuu-monilähdeinventoinnin toimivuuden testaus taimikoiden metsänhoitotoimenpide-ehdotuksien tuottamiseen. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto. Metsätieteen pro gradu, erikoistumisala metsänarviointi ja metsäsuunnittelu. 49 s.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella Kati Simasuu-monilähdeinventointimenetelmän soveltuvuutta taimikkokuvioiden metsänhoitotoimenpiteiden tuottamiseen. Vertailukohtana etäinventointimenetelmälle toimi perinteinen maastoinventointi. Tarkoituksena oli myös tutkia menetelmällä tuotettujen toimenpide-ehdotusten soveltuvuutta Metsäkeskuksen Metsään.fi-palvelun metsävaratietoon. Virheellisesti tulkituilta taimikkokuvioilta pyrittiin löytämään yhteisiä tekijöitä ominaisuustiedosta ja tietolähteistä ja siten päättämään, minkätyyppisillä kuvioilla toimenpide-ehdotus on virheellinen todennäköisemmin.

Aineistona tutkimuksessa oli 180 taimikkokuvioita Pohjois-Karjalan alueelta, Lieksan kaupungin eteläpuolelta Metsäkeskuksen allokoidulta työalueelta 10. 120 kuvioita näistä oli aukeita tai nuoria taimikoita ja 60 varttuneita taimikoita. Tutkimuksessa haluttiin antaa enemmän painoarvoa matalammalle puustolle. Aineistoon valikoituneille kuvioille tuotettiin ensin toimenpide-ehdotukset Kati Simasuu-menetelmällä, minkä jälkeen kuvat maastoinventoitiin kesän 2013 aikana.

Kun aineistolle oli tuotettu toimenpide-ehdotukset molemmilla menetelmillä vertailtiin aineistoa toimenpide-kohtaisesti ja kuviokohtaisesti eri kriteereillä ja virhemarginaaleilla. Toimenpidekohtainen vertailu osoitti, että varhaisperkauksen (64,6 %) ja taimikonhoidon (69,8 %) tulkinnat onnistuivat melko hyvin, muiden toimenpideluokkien tulkinnat eivät onnistuneet käytetyllä menetelmällä. Kuviokohtaisen vertailun tulokset osoittautuivat hyviksi ja oikeintulkitusprosentit olivat 73 ja 79,8 kriteereistä riippuen kahden vuoden virhemarginaalilla. Kuvio tulkinta oli virheellinen todennäköisimmin kuvioilla, joilla oli yksi tai useampi seuraavista ominaisuuksista: rehevä kasvupaikka, maalaji turhema tai hienojakoinen kangas, entinen maatalousmaa, tärkeitä tietolähteitä puuttui. Menetelmällä voidaan tuottaa riittävän tarkkoja toimenpide-ehdotuksia Metsään.fi-palveluun Pohjois-Karjalan alueella, mikäli maastotarkastukset saadaan kohdennettua oikeille kuvioille.

Avainsanat: Kati Simasuu, etäinventointi, monilähdeinventointi, metsänhoitotoimenpide, taimikkoinventointi, Metsävaratieto

Putto, Tero. Kati Simasuu-remote assessment method's validation of producing forest management proposals for seedling stands. University of Eastern Finland, Faculty of Science and Forestry, School of Forest Sciences, master's thesis in Forest Science, specialization Forest Mensuration and Planning. 49 p.

ABSTRACT

Aim of this study was to examine reliability of Kati Simasuu method for producing forest management proposals for seedling stands. Purpose was also to find out, if proposals were reliable enough to be utilized in Finish Forest Centre's Metsään.fi online application. Last thing was to examine in which kind of seedling stands management proposals were most likely to be incorrect.

Data for this research was 180 randomly selected seedling stands in area of North-Karelia, south from town of Lieksa, from Forest Centre's allocated working area 10. 120 of these stands were young seedling stands and 60 were mature seedling stands. Study's emphasis was to examine stands with shallow forest cover. Forest management proposals were produced to all of these stands with Kati Simasuu method and traditional way of forest planning assessment.

When forest management operations were proposed to all stands of data with both methods, it was time to compare correctness of Kati Simasuu proposals to exact proposals from terrain assessment. Management specific and stand specific comparisons were made using different criteria and error margins. Management specific comparison showed that operations early clearing and seedling stand tending proposals were quite successful, 64,6 % of early clearing proposals and 69,8 % seedling stand tending proposals classified correctly. Proposals of other management operation types did not succeed well with used method. Stand specific comparison showed good results and percentages of correctly classified stands were 73 to 79,8 with two years error margin depending on criteria used. Proposals on stands with one or more of following attributes were most likely to be falsely classified: fertile soil, fine-grained or peat soil, former agricultural area or lack of efficient assessment data. Solution of study was that Kati Simasuu method was reliable enough to be used to produce forest management proposals for Metsään.fi-application, if terrain inspections of method can be targeted to falsely classified stands.

Keywords: Kati Simasuu, remote assesment, multisource assessment, forest management operation, seedling stand assessment

ALKUSANAT

Tämä pro gradu -tutkielma on tehty yhteistyössä Metsäkeskuksen kanssa kesän 2013 ja kevään 2014 aikana. Erityisesti haluaisin kiittää Metsäkeskuksen metsätietopäällikkö Kyösti Hassista mielenkiintoisen tutkimusaiheen kehittämisestä. Kiitokset haluan myös välittää työn ohjaajille metsätietojärjestelmien professori Timo Tokolalle ja Metsäkeskuksen paikkatieto-asiantuntija Jussi Lappalaiselle, joilta saatu opastus antoi suuren myötävaikutuksen työn valmistumiselle. Kiitokset välitän myös metsäneuvoja Jouni Karppiselle tutkimuksen aineiston hankinnan sisätyövaiheen suorittamisesta. Viimeisenä haluaisin kiittää kaikkia opiskelutovereita, jotka ovat tukeneet tätä prosessia ja edesauttaneet tämän työn valmistumista, erityisesti Vesa Koskista hyvästä opponoinnista.

Joensuu 12.3.2014

Tero Putto

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Metsänhoitotoimenpiteiden merkitys taimikoissa ja nuorissa metsissä	6
1.2	Metsään.fi ja nopeamman taimikkoinventoinnin tarve	7
1.3	Taimikoiden etäinventointi ja tietolähteet.....	8
1.4	Tutkimuksen tarkoitus	10
2	AINEISTO JA MENETELMÄT.....	11
2.1	Aineisto.....	11
2.1.1	Aineiston kuvaus	11
2.1.2	Aineiston rajaus.....	15
2.2	Menetelmät.....	18
2.2.1	Kati Simasuu-menetelmä	18
2.2.2	Kohdennettu maastoinventointi.....	24
2.2.3	Maasto- ja sisätyöaineistojen järjestäminen vertailukelpoisiksi	27
2.2.4	Aineistojen vertailu.....	28
3	TULOKSET	32
3.1	Aineiston vertailujen tulokset.....	32
3.2	Tulkintavirheiden analysointi	35
4	TULOSTEN TARKASTELU	38
4.1	Vertailujen tuloksien tarkastelu	38
4.2	Virheellisten tulkintojen tarkastelu.....	41
4.3	Pohdintaa menetelmän käytöstä, mahdollisuuksista ja tulevaisuudesta.....	43
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	44
6	LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

1.1 Metsänhoitotoimenpiteiden merkitys taimikoissa ja nuorissa metsissä

Suomessa noin 70 % maapinta-alasta on metsämaata, joten metsäsektori on tärkeä ekonomisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti. Tehokas metsänhoito vaikuttaa suuresti ja metsien uudistamisen tulokseen ja on hyvin tärkeä osa-alue talousmetsien kasvatuksessa tasaikäismetsätalouden ollessa vallitseva metsätalouden muoto. Hyvän metsänuudistamisen tavoitteena on saada aikaan elinvoimainen taimikko, jossa runkoluku, taimien laatu ovat sopivat sekä puulaji, joka on sopiva kasvupaikalle. Uudistamisvelvoite on myös kirjattu Suomen (1996) metsälakiin ja se velvoittaa metsänomistajan uudistamaan päätehakatut hakkuualat. Uudistamisen jälkeiset metsänhoitotoimenpiteet, jossa kasvatettavan puulajin kasvua häiritsevä muu puusto ja kasvillisuus poistetaan, ovat myös tärkeä osa metsänuudistamisketjua. Tärkeimmät näistä ovat varmasti taimikoiden varhaisperkaus ja varsinainen taimikonhoito, jotka monet metsänomistajat jättävät ikävä kyllä tekemättä.

Taimikonhoito on keskeinen osa metsänuudistamista, sillä onnistuneet hoitotoimenpiteet takaavat kasvatettavalle puustolle paremman järeyskehityksen, tilajärjestyksen ja siten ensiharvennusvaiheessa hakkuutulot ovat paremmat (Valkonen ym. 2001, Harstela 2003 jne.) Taimikon varhaisoidossa kasvatettavien taimien kehitys turvataan poistamalla kilpailevaa lehtipuuvesakkoa. Varhaishoito suositellaan tehtäväksi 1–2 metrin pituusvaiheessa. Varhaishoitoa voi edeltää heinätorjunta rehevillä kasvupaikoilla. Varsinaisessa taimikonhoidossa säädelään kasvatettavan taimikon tiheyttä ja puulajisuhteita kasvatustavoitteiden mukaisiksi. Varsinainen taimikonhoito suositellaan tehtäväksi männyllä 4–7 metrin ja kuusella 3–4 metrin valtapituuksivaiheessa (Tapio 2006). Varhaisperkaukset ja taimikonhoidot eivät käytännössä usein noudata tätä kaavaa, vaan riippuvat metsänomistajan linjasta, voimavaroista tai viitseliäisyydestä. Joskus hoitotoimet laiminlyödään, joskus suoritetaan pelkkä taimikonhoito tai hoidot tehdään liian aikaisin tai myöhään. Perkaus ja taimikonhoito ovat tärkeitä toimenpiteitä taloudellisessa mielessä myös muun muassa siksi, että hoidettu taimikko joutuu pienemmällä todennäköisyydellä hirvituhon kohteeksi. Tämä on todettu ainakin männyn taimikoilla, joista lehtipuut on poistettu (Heikkilä 1993).

Metsänhoitotoimenpiteiden tarpeiden kartoittamiseen on pyritty kehittämään tehokkaampia menetelmiä kuin nykyinen maastossa tapahtuva metsäsuunnittelu. Taimikoita ja niiden hoitotarpeita on kuitenkin vaikea inventoida esimerkiksi pelkän laserkeilausaineiston avulla. Viime

vuosina on julkaistu tutkimuksia (esim. Korhonen ym. 2013 ja Pesonen ym. 2007), jotka käsittelevät taimikoiden metsänhoitotoimenpiteiden tarpeen ja ajoituksen arviointia, koska tällä saralla tarvitaan tehokkaampaa markkinointia metsäpalveluyritysten suuntaan ja myös metsänomistajia pitää aktivoida hoitotoimenpiteiden suorittamiseen.

1.2 Metsään.fi ja nopeamman taimikkoinventoinnin tarve

Verkkometsäsuunnitelmat ovat yleistymässä kovaa vauhtia. Tämä johtuu tietotekniikan käytön jatkuvasta yleistymisestä ja sähköisen tiedon ylläpidon sekä säilyttämisen helppoudesta. Metsään.fi on Metsäkeskuksen julkisten palveluiden kehittämä internet-selaimella toimiva verkkometsäsuunnitelma, jonka tarkoituksena on tarjota metsänomistajalle edullinen ja helpokäyttöinen toimintaympäristö, josta voi tarkastella tilojen puustotietoja ja ehdotettuja metsänhoitotoimia tai hakkuita (www.metsään.fi). Palvelu tarjoaa pienempien metsätilojen omistajille perinteistä metsäsuunnitelmaa edullisempaa metsävaratietoa. Tarkoituksena on myös saada metsänomistajat tietoisiksi kiireisistä hakkuu- tai hoitotarpeista metsissään ja aktivoida heitä toimenpiteisiin metsissään ja tällä tavalla vaikuttaa Suomen metsävarojen laatuun ja määrään. Metsään.fi on myös hyvä markkinointityökalu metsäpalveluyrityksille, jonka kautta ne voivat tarjota palveluitaan niitä tarvitseville metsänomistajille.

Metsävaratieto Metsään.fi-palveluun tuotetaan suurimmalta osin laserkeilauksen avulla, sillä tämä on nykyisellä tekniikalla perinteistä maastoinventointia kustannustehokkaampaa (Maltamo ym. 2011). Osa tiedosta joudutaan kuitenkin keräämään maastoinventoinnilla johtuen nykyisen laserkeilaustekniikan puutteista matalia puustoja ja taimikoita mitattaessa. Metsäkeskuksen inventointiprosessi on 2-vuotinen. Ensimmäisenä vuonna tehdään laserkeilaus, ilmakeilaus ja koealamittaukset, seuraavana talvena puustotulkinta ja kuviointi sekä toisena kesänä kohdennettu maastoinventointi. Maastotyöt kohdistetaan kuvioille, joilta ei saada riittävästi tietoa kaukokartoituksella. Nämä kohteet ovat pääosin uudistusaloja ja taimikoita. (MMM... 2012). Taimikot ovat hankala kohde laserkeilaukselle, niiden latvuksen pienen koon ja klusteroituneiden spatiaalisten sijaintien takia (Hall ja Alfred 1992). Osa tiedosta johdetaan myös suoraan alle yhden suunnittelukauden vanhoista metsäsuunnitelmista. Tämä tapahtuu Metsäkeskuksen käyttämän metsänkasvatussimulaattori SIMO (Simulointi ja optimointi) avulla, jolla puustotiedot ajantasaistetaan. Huomioon otetaan myös mahdolliset tehdyt hakkuut ja metsänhoitotyöt toimenpide tai metsänkäyttöilmoitusten perusteella.

Suomen metsien laserkeilausinventoinnin yleistyessä perinteisen maastoinventoinnin tarve on vähentymässä. Laserkeilausinventoinnin heikkoutena on kuitenkin taimikoiden ja nuorten kasvatusmetsien inventointitulosten heikko laatu, sillä 2-3 metriä pienemmistä taimikoista ei keilaamalla saada juuri minkäänlaista puustotietoa, sillä maanpinnan tausta- ja pensaskerrokset heikentävät tulosten luotettavuutta merkittävästi (Næsset 2004). Myös varttuneempien taimikoiden puustorivin tiedot ovat nykyisillä menetelmillä melko epätarkkoja. Tämän takia ainakin nuorimmat taimikot on inventoitava kohdennetusti maastossa keilattujen alueiden metsävaratiedon täydentämiseksi. Myös varttuneemmat taimikot inventoidaan maastossa keilaustiedon epätarkkuudesta johtuen. Nykyisin laajojen keilausalueiden taimikoiden inventointi toteutetaan siis kohdennetulla otannalla maastotyönä, kun taas iäkkäämpien puustojen tiedot saadaan keilausdatasta. Tästä esimerkkinä on Metsäkeskuksen Metsään.fi-palvelun metsävaratiedon inventointi.

Taimikoiden maastoinventointi on kuitenkin hidasta ja kallista verrattuna laserkeilaukseen. Taimikoista puuttuvan metsävaratiedon takia muuten julkaisuvalmista keilaamalla tuotettua Metsään.fi-metsävaratietoa ei voida markkinoida metsänomistajille, ennen kuin taimikot on inventoitu maastossa ja metsävaratieto niistä on lisätty palveluun. Laserkeilaustulkinnan potentiaalia inventoinnissa on pyritty kehittämään ja jatkossa puustotulkintaa pyritään tekemään myös varttuneissa taimikoissa, jolloin kohdennetun maastoinventoinnin osuutta voitaisiin pienentää (MMM... 2012).

1.3 Taimikoiden etäinventointi ja tietolähteet

Etäinventointi tarkoittaa metsävaratiedon tuottamista sisätyönä ilman maastoinventointia. Viime vuosina on pohdittu mahdollisuutta hyödyntää erilaisia aineistoja toimistotyönä tai laskennallisten mallien avulla tapahtuvaan taimikoiden inventointiin. Esimerkiksi Korhosen ym. tutkimus (2008), jossa tutkittiin laserkeilausaineiston ja vanhojen metsäsuunnitelmien tietojen avulla taimikonhoitotarpeen määrittämistä. Myös tässä tutkimuksessa käytettävä Kati Simasuu-menetelmä lukeutuu tämän kaltaisiin etäinventointimenetelmiin. Tämän tyyppisen inventoinnin käyttäminen nopeuttaa taimikoiden metsävaratiedon tuottamista todella paljon. Hyvät tietolähteet ovat etäinventoinnissa tärkeässä roolissa ja useissa tutkimuksissa etäinventointia on tutkittu vain vähäistä tietolähteiden määrä yhdistelmäkäyttäen. Tehokkaalla taimikoiden etäinventoinnilla pystyttäisiin nopeuttamaan julkaisukelpoisen metsävaratiedon valmistumista, ongelman ollessa vain tarpeeksi luotettavan menetelmän löytäminen.

Taimikoiden puustotietojen tarkka arviointi ilman maastokäyntejä on erittäin vaikeaa, eikä sille ole pystytty määrittämään tarkkaa mallia ainakaan runkoluvun suhteen (Korhonen ym. 2013). Puustotietoja tuottamista etäinventoinnilla on kokeiltu myös taimikkolaser-hankkeessa (MMM... 2012), mutta runkoluvun mallintaminen taimikoille ei tuottanut hyvää tulosta.

Taimikoiden hoitotoimenpiteiden etäinventointia käsittelevissä tutkimuksissa on tarkasteltu enimmäkseen taimikonhoitoa. Syy lienee siinä, että taimikonhoitotarvetta on suhteellisen helppo tutkia verrattuna esimerkiksi täydennysistutukseen. Taimikonhoito on myös melko tärkeä metsänhoitotoimenpide laadukkaan metsikön aikaansaamisen kannalta, joten sitä kannattaakin tutkia. Valtakunnan metsissä on myös todella suuri määrä taimikonhoitorästejä ja mikäli niiden tarve voitaisiin määrittää tehokkaammin, valtion myöntämiä nuoren metsän- ja taimikonhoitoon tarkoitettuja KEMERA-varoja voitaisiin markkinoida nykyistä paremmin metsänomistajille. Tämä on myös yksi Metsään.fi palvelun tärkeimmistä tavoitteista. Pesosen ym. (2007) tutkimuksen mukaan valtion metsien inventoinnin metsävarakartan avulla taimikonhoitotarpeen ja ajankohdan arviointi toimii paremmin kivennäismailla, joista oikein luokitui 62 %. Turvemaidella oikein luokitui 44 %. Myös LandsatTM-satelliittikuvia ja vanhoja inventointitietoja yhdessä käyttämällä taimikonhoidon kiireellisyyden arvioinnista saatiin hyviä tuloksia (Hyvönen 2002). Korhonen ym. (2013) saivat tutkimuksessa myös kohtuullisia, muttei riittäviä tuloksia taimikonhoidon kiireellisyyden arvioinnista laserkeilausaineistojen ja ilmakuvien avulla mallintaen. Metsäsuunnitelmatietojen ja laserkeilausaineiston perusteella tehty tutkimus on antanut hyviä tuloksia kiireellisten taimikonhoitokohteiden inventoinnissa, mutta kiireellisissä hoitotarpeessa olleet taimikot menivät osittain sekaisin hoitotarpeettomien taimikoiden kanssa (Närhi ym. 2008). Myös laserkeilaustiedon lineaarisella diskriminantilla arviointi tuotti melko hyvän 79 oikeinluokittumisprosentin taimikonhoitotarpeen ennustamisessa (Nivala 2012).

Taimikoiden perkaustarvetta on tutkittu vähemmän, mutta tiedetään, että pelkkä ilmakuvien sävyarvojen kautta tapahtuva inventointi ei tuota riittävää tulosta. Ilmakuvan sävyarvojen ja tarkan laserkeilausaineiston yhdistelmäkäytöllä olisi potentiaalia hyvään tulokseen (Tuomola 2007). Tahvanainen (2011) tutki perkaustarpeen arviointia nuorille taimikoille ja taimikonhoitotarpeen arviointia varttuneille taimikoille, käyttäen laserkeilaustietoa ja taimikon perustamisilmoitusia. Tuloksista ilmeni, että nuorille taimikoille perkaustarpeen arviointi onnistui taimikonhoitotarpeen arviointia paremmin. Perkaustarvetta pystyttäisiin myös arvioimaan tarkasti hyvin tarkan resoluution ilmakuvilla, mikä olisi kuitenkin liian kallista laajamittaisessa käytössä (Pouliot ym. 2002).

Edellä mainituissa tutkimuksissa on yhdistelmäkäytetty yhtä tai kahta tietolähdettä ja laserkeilaustieto on monessa toinen näistä. Esimerkkeinä näistä Närhen ym. (2008) tutkimus, jossa tietolähteinä käytettiin laserkeilausdataa ja vanhojen metsäsuunnitelmien tietoja. Tässä tutkimuksessa käytettävässä Kati Simasuu-menetelmässä pyritään käyttämään mahdollisimman useita saatavilla olevia tietolähteitä. Muun muassa paikkatietoaineistoja, ilmakuvia, laserkeilausdataa ja puuston latvusmallia eli CHM (Canopy Height Model). Menetelmään on oppiva prosessi, johon kuuluu myös maastovaihe, jossa osa kohteista tarkastetaan maastoinventoinnilla ja näiden maastokäyntien perusteella menetelmää pyritään kehittämään. Tietolähteiltään lähimpänä tätä tutkimusta edellä mainituista lienevät Tahvanaisen (2011) ja Närhen ym. (2008) tutkimukset, joissa käytettiin laserkeilaustulkintojen lisäksi apuna paikkatietoaineistoja.

1.4 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia Kainuun Metsäkeskuksessa Pyykkösen ym. (2011 ja 2013) kehittämän Kati Simasuu-menetelmän avulla tuotettujen metsänhoitotoimenpideehdotusten luotettavuutta verrattuna perinteiseen maastoinventointiin. Menetelmää käytetään jo Kainuun Metsäkeskuksen alueella Metsään.fi-metsävaratiedon tuottamiseen ja tarkoituksena on myös tarkastella, ovatko tuotetut toimenpide-ehdotukset tarpeeksi luotettavia, että niitä voitaisiin käyttää Metsään.fi-palvelussa myös Pohjois-Karjalan alueella. Tätä selvitettiin erilaisien kriteerien ja virhemarginaalien avulla. Tutkimuksessa valitaan joukko taimikkokuvioita ja inventoidaan ne molemmilla menetelmillä sekä vertaillaan saatuja toimenpide-ehdotuksia keskenään. Etäinventoinnin suoritti Jouni Karppinen ja maastoinventoinnin tämän tutkielman tekijä Tero Putto. Lähtökohtana on, että maastoinventoinnin toimenpide-ehdotus on oikea tulos. Kati Simasuu-menetelmää selitetään tarkemmin menetelmät-osiossa.

Kati Simasuu-menetelmään kuuluu myös maastovaihe, jossa noin 7 % kuvioista pyritään tarkastamaan maastossa, joka on kustannustehokas ja samalla riittävä määrä, jotta menetelmää voidaan kehittää oppivalla prosessilla. Tämän takia tutkimuksen tarkoituksena on toimenpideehdotusten arvioinnin lisäksi tutkia, minkä tyyppisillä kohteilla toimenpiteiden kiireellisyyden arviointi onnistuu parhaiten ja minkä tyyppisillä kohteilla huonosti tai ei lainkaan. Jos oikein luokituneiden kohteiden välillä löydetään jonkinlainen yhteinen tekijä, esimerkiksi ravinteisuusluokka, voitaisiin ainakin tämän tyyppisten kohteiden maastokäyntejä vähentää tai lopettaa kokonaan. Vastaavasti, jos kuvioilta, joiden toimenpide-ehdotukset osoittautuivat virheel-

lisiksi, löytyy jonkinlainen yhteinen tekijä, voitaisiin maastokäyntejä painottaa tämän tyyppisten kohteiden inventointiin. Esimerkkinä tästä Pesosen ym. (2007) tutkimus, jossa todettiin, että turvemaa kuviolla taimikoiden hoitotarpeen arviointi ei onnistu yhtä hyvin, kuin kivennäismailla.

Mikäli menetelmän tarkkuus on hyvä, olisi mahdollista saada aikaan merkittäviä säästöjä maastokäynteihin käytettävistä varoista ja miestyötunneista. Samalla keilausalueiden metsävaratieto saataisiin nopeammin julkaisukelpoiseksi taimikoidenkin osalta. Esimerkiksi Metsään.fi kaltaisten keilausprojektien kannalta riittävällä tarkkuudella toimiva etäinventointimenetelmä säästäisi paljon resursseja organisaation muuhun toimintaan.

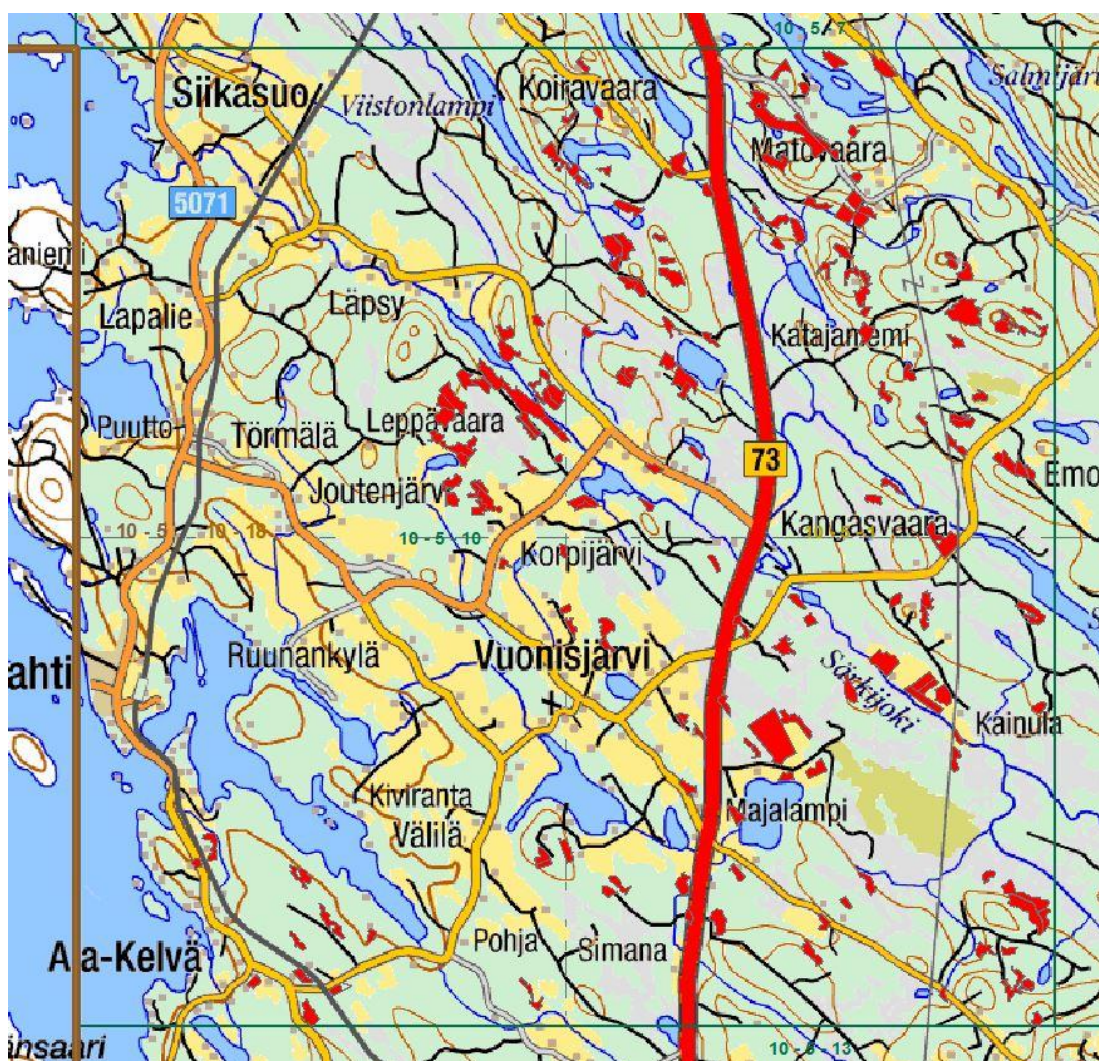
2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Aineisto

2.1.1 Aineiston kuvaus

Tutkimusaineisto sijoittuu Itä-Suomen Pohjois-Karjalaan Lieksan kunnan alueelle. Tutkimusalue sijoittuu noin 20 km Lieksan kaupungin eteläpuolelle ja Pielisen itärannalta noin 12 km itään päin. Alue on pinta-alaltaan 14 400 ha ja se on muodostettu neljän 6×6 km karttalehden mukaisesti. Alue on yksi Pohjois-Karjalan Metsäkeskuksen ja Maanmittauslaitoksen kesän 2012 laserkeilaushankkeen alueelta muodostetuista allokouduista työalueista numeroltaan 10. Aluetta ja aineistoon valittuja kuvioita voidaan tarkastella kuvasta 1. Aineisto koostuu 180 taimikkokuvioista, joiden valinta käsitellään seuraavassa alaluvussa. Kyseinen alue oli myös työalueeni kesän 2013 loppupuolella, jossa suoritin kohdennettua maastoinventointia (KOMI). Alueen läpi kulkeva Lieksan tie ja runsas maanteiden ja metsäteiden verkosto mahdollistivat sujuvan ja nopean siirtymisen kohteelta toiselle. Alue koostui suurimmalta osin yksityisten metsänomistajien tiloista, joita Metsäkeskus pyrkii Metsään.fi palvelussa inventoimaan. Yritysten ja valtion omistamat metsämaat poistettiin otannassa maskin avulla. Alueella oli myös melko paljon maatalousmaata ja muuhun maankäyttöluokkaan, kuin metsämaahan kuuluvia alueita. Pielisen itäranta toi alueeseen vaihtelua normaalista metsämaastosta. Vaihtelua oli siis paljon ja aineistoon päätyneiden kuvioiden maapohja ja ravinteisuus vaihtelivat melko laajasti hienojakoisesta karkeaan, suosta kivennäismaahan ja karusta rehevään maahan.

Aineiston perustana toimii Metsäkeskuksen julkisten palveluiden Aarni-järjestelmä, joka on myös organisaation paikkatietoaineistojen tietokanta ja pääasiallinen paikkatietosovellus. Aarni korvasi vanhan LuotsiGIS-järjestelmän ja sen sisältämät metsävaratiedot siirrettiin Aarni-järjestelmään omaksi aineistokseen. Aarni perustuu Esri:n ArcGIS 10 paikkatietosovellukseen, johon on räätälöity Metsäkeskuksen käyttöön sopivat työkalut ja käyttöliittymät. Järjestelmä otettiin ensimmäistä kertaa käyttöön huhtikuussa 2010, jonka jälkeen aloitettiin myös laajojen alueiden laserkeilaukset eri puolilla Suomea (Etula 2010). Samoihin aikoihin aloitettiin myös Metsään.fi-palvelun kehittäminen.



Kuva 1. Tutkimusalue ja aineistoon kuuluvat kuviot merkittynä punaisella värillä.

Laserkeilausalueelle on tehty Aarni-järjestelmässä niin sanottu mikrokuvointi, josta varsinaiset metsävaratietokuvat (MVt-kuvat) on johdettu automatisoidusti. Kuvointia korjaillaan manuaalisesti digitoimalla parempilaatuseksi Metsäkeskuksen inventoijien toimesta. Näihin MVt-kuvioihin perustuu myös Metsään.fi-palvelu ja tämän tutkimuksen aineisto. Suurin osa

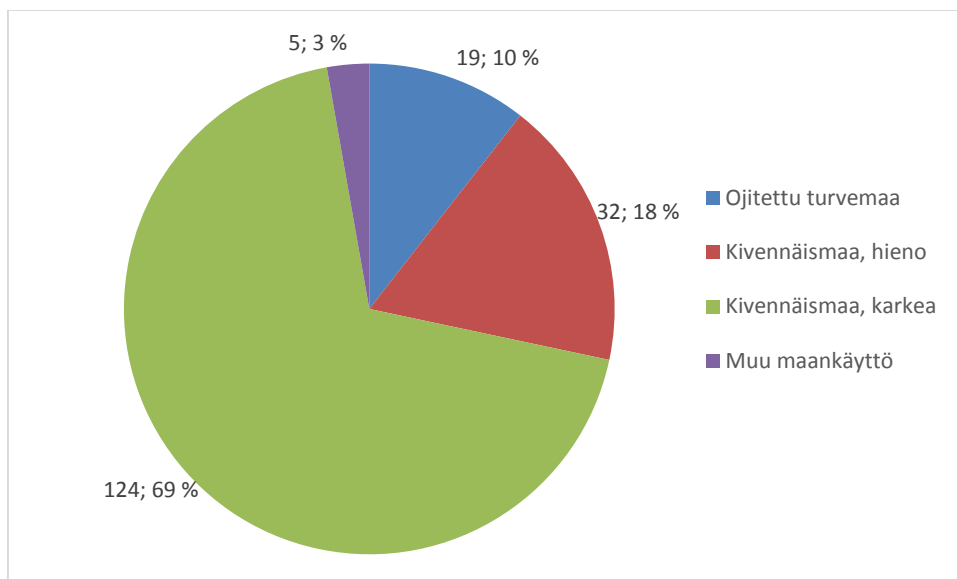
kuvioiden maapohjatiedoista saadaan vanhojen metsäsuunnitelmien tai inventointien pohjalta Luotsi-kuvioista yleistämällä. Puustotiedot MVt-kuvioille on saatu Aarni-järjestelmän hila-karttatasolle tehdystä laserkeilaustulkinnasta yleistämällä. Kuvasta 2 voidaan tarkastella, mitä MVt-kuviointi näyttää käytännössä.



Kuva 2. Kuvaus valmiista metsävaratieto-kuvioinnista Aarni-järjestelmässä.

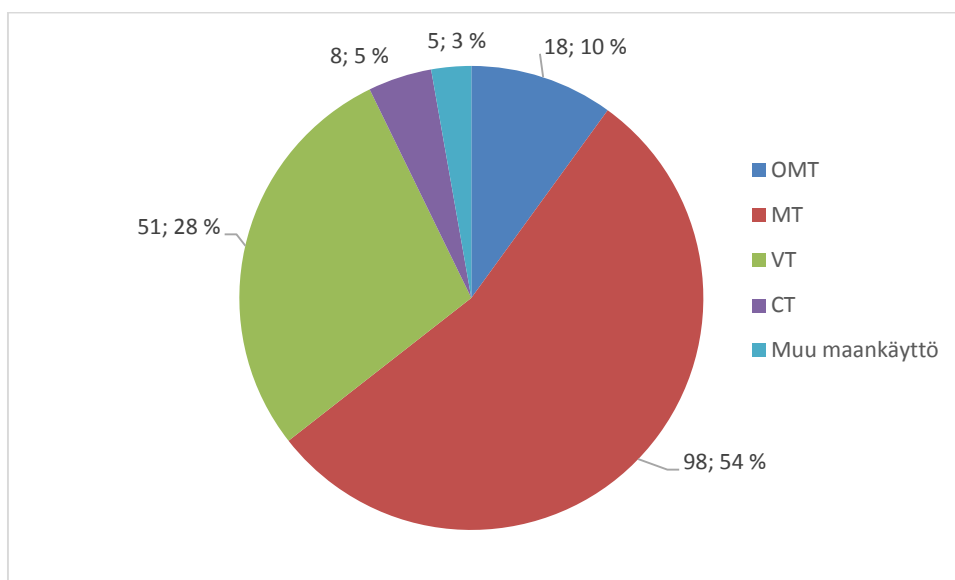
Aineistoon valikoituneista kohteista suurin osa oli odotetusti kivennäismaata. Turvemaiden osuus aineistosta on 19 kuviota eli 10,6 %, joka jättää kivennäismaiden osuudeksi lähes 87,2 % aineistosta, eli 156 kuviota. Kivennäismaat jaettiin tässä tutkimuksessa hienojakoisiin kivennäsimaihin, joiden osuus aineistosta on 32 kuviota, eli 18 % ja karkeisiin tai keskikarkeisiin kivennäsimaihin, joiden osuus aineistosta on 124 kuviota, eli 69 %. Loput 5 kuviota ja noin 3 % olivat muuta maankäyttöluokkaa edustavia kuvioita, joita sattui otantaan MVt-kuvioinnin virheiden takia. Turvemaakuvioiden vähäinen määrä johtunee alueen yleisestä geologiasta ja siitä, että kitu- ja joutomaat rajattiin pois valinnasta. Luonnontilaiset suot, ja ojitot ovat yleensä vähintään kitumaita ja tutkimuksen aineiston otantaan ei valikoitunut yhtään kohdetta näistä luokista. Tämän takia kaikki suot ja turvemaat on tässä tutkimuksessa rajattu ojitetuiksi turvemaiksi. Alueella ei ollut suuria määriä metsämaaksi luokituttavia turvemaataimikoita. Hienojakoisten kivennäismaiden osa aineistosta on myös melko pieni, joka voi johtua karkeiden kivennäismaiden yliarviosta Lieksan alueella. Maalajin raekoko on otettu jaotteluun mukaan, koska tutkimuksessa halutaan selvittää onko sillä mahdollisesti vaikutusta etäinventoinnin onnistumiseen. Luvut ja prosentiosuudet on laskettu maastossa mitatuista korjatuista kuviotiedoista, ja ovat paikkaansapitävämpiä, kuin Luotsi-aineistosta yleistetyt. Kuvasta 3 voidaan tarkastella aineiston maalajijakaumaa, tutkimusta varten maalajit jaettiin 4

ryhmään: ojitetut turvemaa, hienojakoiset kivennäismaat, keskikarkeat ja karkeat kivennäismaat ja muu maankäyttö.



Kuva 3. Ympyrädiagrammi aineiston kuvioiden maalajien jakaumasta sekä niiden lukumäärät ja prosenttiosuudet.

Kasvupaikkatyypeistä suurimman edustuksen aineistossa saivat tuoreet kankaat ja niitä vastaavat suot (MT). Tuoreen kankaan ravinteisuusluokan kohteita oli aineistossa 98 kappaletta, eli 54 %, joka on melko vahva edustus. Kuivahkoja kankaita tai sitä vastaavia soita (VT) aineistoon valikoitui 51 kuviota, eli 28,3 %, oli melkolailla odotettavissa, että MT ja VT ovat vallitsevia ravinteisuusluokkia, sillä tutkimuksen mukaan ne ovat yleisimpiä ravinteisuusluokkia Suomessa (Ihalainen ym. 2013). Lehtomaisia kankaita ja niitä vastaavia soita (OMT) aineistoon valikoitui 10 % aineistosta, eli 18 kappaletta ja kuivia kankaita ja niitä vastaavia soita (CT) vain 8 kuviota, eli noin 5 %. Aineiston kasvupaikkatyyppien jakaumaa voidaan tarkastella kuvasta 4, josta huomataan, että se näyttää melko samalta, kuin kasvupaikkatyyppien jakauma Pohjois-Karjalan alueella. Tuoreet kankaat ja niitä vastaavat suot esiintyvät tutkimusaineistossa hieman runsaampana ja OMT sekä VT hieman vähäisempinä Pohjois-Karjalan kasvupaikkajakaumaan verraten (PK kasvupaikkatyyppit).

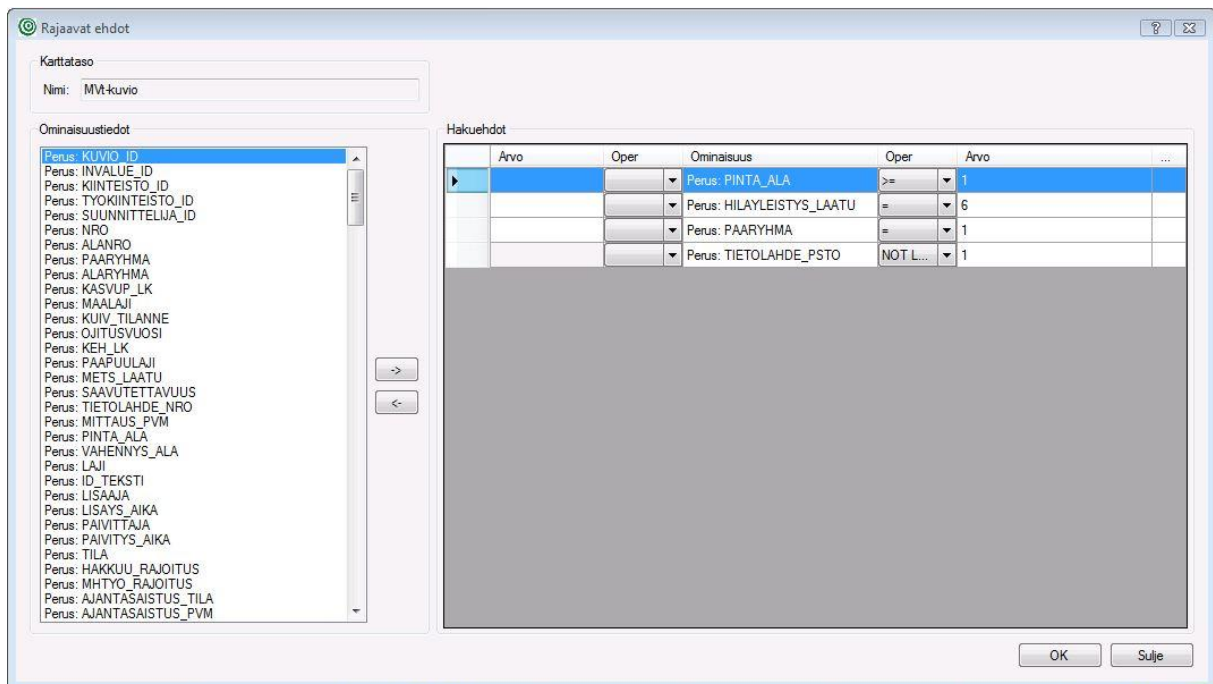


Kuva 4. Ympyrädiagrammi aineiston kuvioiden kasvupaikkatyyppien jakaumasta sekä niiden lukumäärät ja prosenttiosuudet.

2.1.2 Aineiston rajaus

Aineiston valinta suoritettiin SQL-kyselyn (Structured Query Language) avulla Aarnijärjestelmästä. Kyselyn rajaavat ehdot perustuivat MVt-kuvioiden ominaisuustietoihin, joita ovat muun muassa kuviotiedot ja kuvion tietolähde. Aineistoksi valittiin yhteensä 180 MVt-kuviota, joista 120 valittiin keilaustulkintaan luokittumattomista MVt-kuvioista ja 60 varttuneemmista taimikoista, jotka luokittuivat keilaustulkinnan mukaan kehitysluokkaan (T2). Aineistoksi valittiin 2/3 luokittumattomia taimikoita, sillä tutkimuksessa halutaan painottaa hie- man enemmän kuvioihin, joista ei saada laserkeilausaineiston avulla minkäänlaista puustotie- toa, vaan inventointia tehdessä hyödynnetään pelkästään muita käytettävissä olevia tietoläh- teitä. Lisäksi varttuneemmissa taimikoissa ja pienissä nuorissa kasvatusmetsissä yleensä ainoa tarvittava toimenpide on taimikon- tai nuoren metsänhoito, kun taas nuorissa taimikoissa tar- vittavia hoitotoimenpiteitä on yleensä enemmän. Varttuneempien taimikoiden inventointi Kati Simasuu-menetelmällä on myös yksinkertaisempaa ja siihen ei vaadita niin montaa eri tietolä- hdeä, kuin nuoria taimikoita inventoitaessa. On myös otettava huomioon Metsäkeskuksen aikomus painottaa enemmän resursseja varttuneiden taimikoiden laserkeilauksen kehittämi- seen (MMM... 2012), joten tässä tutkimuksessa on hyvä antaa enemmän painoarvoa osa- alueelle, jota ei olla ainakaan vielä aikomuksissa siirtää osittain maastoinventoinnin ulkopuo- lelle.

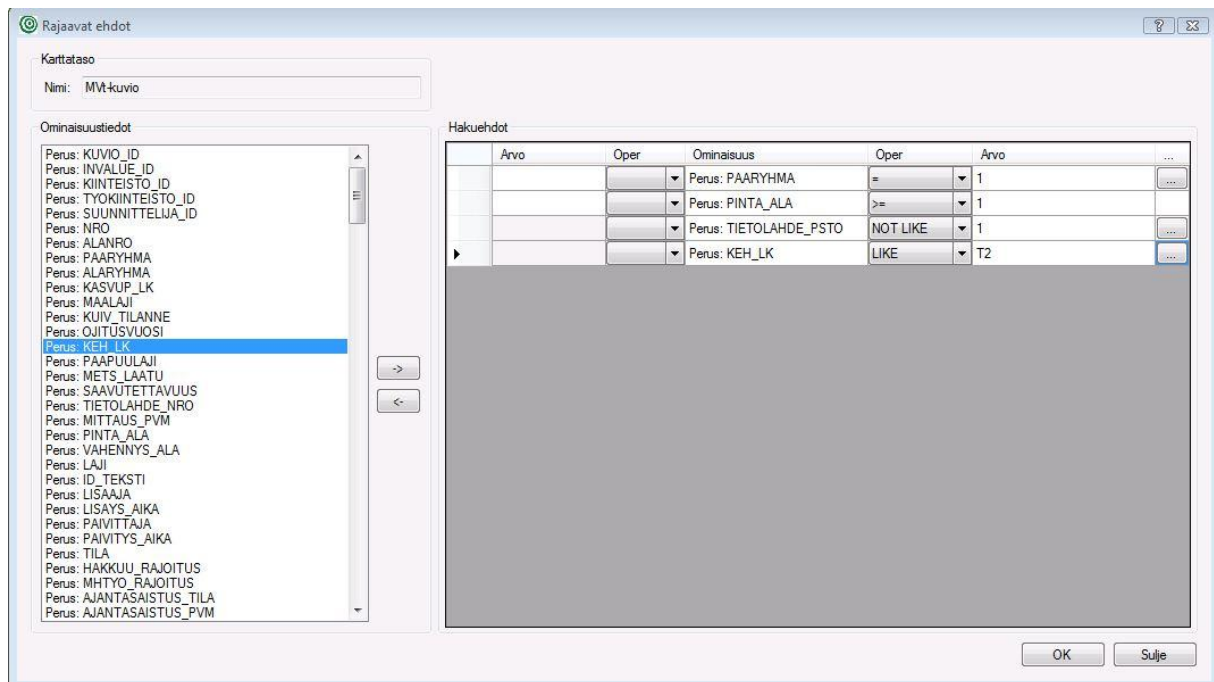
Ensimmäisenä Lieksan allokoidulta työalueelta 10 haettiin kaikki pinta-alaltaan vähintään hehtaarin kokoiset keilaustulkintaan luokittumattomat MVt-kuviot. Luokittumattomuus tarkoittaa, että kuvion puusto ei ole tarpeeksi kookasta keilaustulkinnan tekemiseen kyseiselle kuviolle. Luokittumattomat kuviot ovat yleensä aukeita (A0), nuoria tai varttuneita taimikoita (T1, T2), kitu-, joutomaita tai muuhun maankäyttöluokkaan kuuluvia kuvioita. Valittujen kuvioiden koko pidettiin vähintään hehtaarissa selkeyden takia. Tämän jälkeen kyselystä rajattiin pois kaikki muut kuviot, paitsi pääryhmältään metsämaat (PÄÄRYHMÄ = 1), eivät ole tietolähteeltään maastossa mitattuja (TIETOLÄHDE_PSTO != 1) ja hilayleistyksen laatu on luokittumaton (HILATYLEISTYS_LAATU = 6). Seuraavaksi saadusta otannasta rajattiin satunnaisesti 120 kuviota, jotka muodostivat tutkimusaineiston luokittumattomien kuvioiden osuuden. Kuvasta 5 nähdään, miten SQL-kyselyn rajaavat ehdot on määritetty karttajoukon valintatyökalulla.



Kuva 5. Luokittumattomien MVt-kuvioiden SQL-kysely Aarni-järjestelmän valintatyökalulla.

Samalla SQL-kyselyllä rajattiin myös varttuneempia taimikoita, jotka olivat tarpeeksi kookkaita keilaustulkinnan onnistumiseksi. Kysely tehtiin valintatyökalulla samalla tavalla kuin luokittumattomien kuvioiden kysely, mutta luokittumattoman hilayleistyksen tilalle asetettiin hakuehdoksi laserkeilaustulkinnan mukainen kehitysluokka T2. Saadusta otannasta valittiin 60 kuviota satunnaisesti samalla tavalla kuin luokittumattomistakin, mahdollisimman laajan

maalaji- ja kasvupaikkatyyppien vaihtelun varmistamiseksi. Varttuneiden taimikoiden rajaa-
via ehtoja voidaan tarkastella kuvasta 6.



Kuva 6. T2-luokan MVt-kuvioiden SQL-kysely Aarni-järjestelmän valintatyökalulla.

Tutkimusaineiston valintojen valmistuttua seuraavana vaiheena aineiston laadinnassa oli luoda valituista kuvioista uusi karttataso. Karttataso oli luontivaiheessa tiedosto tyyppiä .lyr, mikä tarkoittaa, että luodun karttatason tiedot viitataan suoraan alkuperäisestä karttatasosta, eli MVt-kuvioista (ArcGIS tiedostotyyppien määritelmät). Tämä tarkoittaa, että jos alkuperäisen karttatason eli tässä tapauksessa MVt-kuvioiden tiedot muuttuvat, muuttuvat myös uuden luodun karttatason tiedot. Sen takia aineiston sisältävä karttataso täytyi tallentaa shapefile (.shp) muotoon, jolloin kuvioiden geometria jää alkuperäiseksi, eikä muutu lähdetiedon muuttua. Kuvioiden tiedot otettiin talteen luomalla niistä XML-tiedosto, jossa kaikkien valittujen kohteiden tiedot XML -muodossa koodattuna. Shapefile on vektorityyppinen tiedosto, jolla voidaan kätevästi varastoida yhden tai useamman kohteen geometria ja siihen liittyvä ominaisuustieto (ArcGIS Resource Center). MVt-kuvio -karttatasosta ei kuitenkaan saada tallennettua kaikkia tarvittavia tietoja shapefile-muotoon, vaan esim. kuvioiden toimenpide-ehdotukset täytyy tallentaa edellä mainittuna XML-tiedostona. XML (Extensible Markup Language) on monimutkaisten tekstiaineistojen käsittelyn helpottamiseksi kehitetty merkintäkieli. XML on kompakti tapa tallentaa esimerkiksi paikkatietoaineistojen ominaisuustietoa erilliseen lähteeseen. Aineiston alkuperäiset tiedot oli tallennettava siksi, että ne muuttuvat maastoinventoinnissa kerätyn päivitetyn tiedon korvataks vanhan tiedon. Kuvassa 7 on havainnollistettu, miten aineistoon valikoituneet kuviot jakautuvat tutkimusalueelle.



Kuva 7. Aineistoon kuuluvia kuvioita MVt-kuvio karttatasolla.

2.2 Menetelmät

2.2.1 Kati Simasuu-menetelmä

Kati Simasuu eli kaukokartoitustietojen tuottaminen ja ylläpito simulointimallein ja maastotarkastuksin suunnittelutiedoiksi on Kainuun Metsäkeskuksessa metsävaratiedon tuottamiseen kehitetty monilähdeinventointimenetelmä, jonka käyttäminen tapahtuu manuaalisesti ammattitaitoisen inventoijan eli yleensä metsäneuvojan toimesta. Menetelmän käytöstä ja hyödyntämisestä Metsään.fi-palveluun on laadittu ohjeet (Pyykkönen ym. 2011 ja 2013). Menetelmässä käytetään hyödyksi Aarni-järjestelmää ja sen kaikkia sen sisältämiä aineistoja, joista on hyötyä parempaan inventointitulokseen. Kohdetiloina Metsäkeskuksen inventoinnissa ovat pelkästään yksityismaat, ei Metsähallituksen, yhtiöiden tai yhteisöiden metsiä. Tarkoituksena on tarkoitus tuottaa metsävaratietoa koko keilausalueelle mahdollisimman kustannustehokkaasti, mutta kuitenkin tarkkuusvaatimukset täyttäen. Tavoitteena on metsävaratiedon tuottaminen ja maastotarkastusten jakaminen ympäri vuoden. Tämän tutkimuksen aineistoa

kerätessä ei tehdä menetelmään liittyviä maastotarkastuksia, vaan tarkastellaan puhtaasti sisätyönä tehtyjen toimenpide-ehdotusten paikkansapitävyyttä. Menetelmässä katsotaan erikseen kuviokohteet, joiden puustotietoyleistys on joko heikko tai epäonnistunut. Nämä kohteet ovat suurimmalta osalta aukeita, tai nuoria taimikoita. Myös varttuneiden taimikoiden hoitotarvetta ja kiireellisyyttä arvioidaan.

Tietolähteinä luokittumattomien kuvioiden ja taimikoiden etäinventoinnissa käytetään (Pyykönen ym. 2013):

1. Luotsi-kuviot (vanhat metsäsuunnitelmat ja MVt-kuvioiden kuviotietojen yleistyksen)
2. Taimikon perustamisilmoitukset (tpi-kuviot)
3. Toimenpidekuviot (KEMERA-kuvio)
4. Latvusmalli eri tavalla säädettyinä (CHM)
5. Ilmakuvat eri lähteistä ja vuosilta
6. Keilausdata (varttuneimmat taimikot)
7. Asiakastiedon selailu
8. Vertailu naapuritilan vastaavanlaiselta kuviolta
9. Maastotarkastusissa saadun opin hyödyntäminen
10. Metsänomistaja
11. Yllä mainittujen tietolähteiden yhdistelmät

Tässä tutkimuksessa tietolähteinä käytettiin ainoastaan Aarni-järjestelmästä saatavia tietolähteitä, jotka ovat: Luotsi-kuviot, tpi-, KEMERA-kuviot, ilmakuvat, keilausdata, CHM ja näiden yhdistelmiä monilähdeinventontina. Maastotarkastuksista saatua oppia ei menetelmän pohjalta ollut.

Tämän tutkimuksen sisätyöt suoritettiin Metsäkeskuksen Lieksan toimipisteellä. Etäinventoinnit aineistolle tähän tutkimukseen teki Metsäkeskuksen Pohjois-Karjalan alueyksikön metsäneuvoja Jouni Karppinen. Aineistoa inventoidessa siirryttiin kuvioiden tunnistenumeron perusteella kohteelta toiselle. Sisätyöt suoritettiin siten, että Jouni Karppinen teki Aarni-järjestelmän avulla inventoinnin ja tutkimuksen tekijä Tero Putto kirjasi saadut toimenpide-ehdotukset Excel-tiedostoon. Tärkeä osa tutkimuksen onnistumisesta oli, ettei maastoinventointiosion suorittaja eli Tero Putto saanut vaikuttaa etäinventoinnissa syntyneisiin toimenpide-ehdotuksiin, vaan toimi toimenpide-esitysten kirjaajana tutkimuksen tässä vaiheessa. Tämän tyyppisessä monilähdeinventoinnissa tekijän kokemus maastoinventoinnissa, ilmakuvien tul-

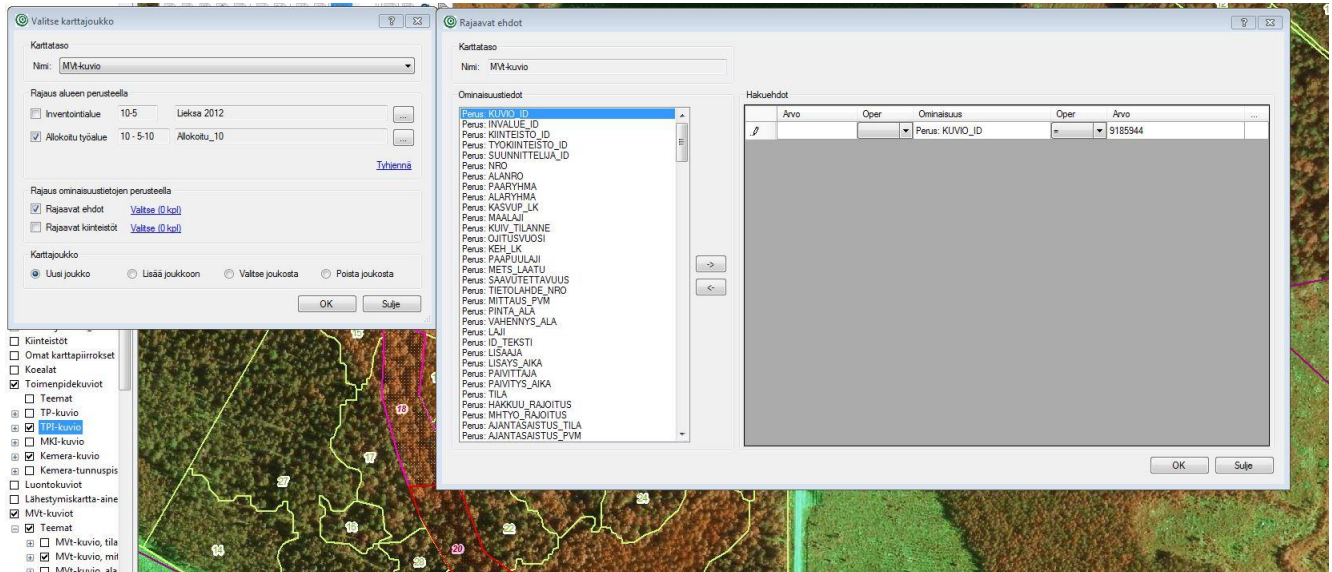
kintakyky ja erilaisten kasvupaikkojen ja metsänuudistamistapojen yhteisdynamiikan arviointikyky vaikuttavat hyvin paljon lopputuloksen onnistumiseen. Tästä johtuen Kati Simasuu-inventoina tekemään valittiin kokenut maastoinventoija, jolla on myös paljon kokemusta Aarni-järjestelmän käytöstä. Ennen sisätyövaiheen aloittamista sovittiin myös mahdollisimman yhtenäinen linja taimikoiden metsänhoito strategian suhteen, maksimaalisen vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi.

Toimenpide-ehdotuksien ajankohtia pyrittiin arvioimaan Tapion hyvän metsänhoidon suosituksien (2006) mukaan. Varhaisperkaus eli työlaji 660 pyritään ajoittamaan kasvatettavan puulajin taimien ollessa noin metrin mittaisia ja 6-9 vuotiaita. Varhaisperkauksella tarkoitetaan kasvatettavaa puulajia häiritsevän aluskasvillisuuden ja lehtipuuston poistoa. Taimikonhoito (työlaji 740) taas pyritään ajoittamaan siten, että taimet ovat noin 4 metrin pituisia ja vähintään 7 vuotta perkauksesta. Taimikonhoidolla tarkoitetaan taimikon harvennusta läpimitan kasvattamiseksi ja laadun parantamiseksi. Perkauksen ja taimikonhoidon ehdotusten ajankohtien arvioinnissa käytettiin Pyykkösen ym. (2011 ja 2013) ohjeita ja inventoinnin tekijän ammattitaitoa taimikkojen inventoinnissa.

Vajaatuottoisena uudistamista ja täydennysistutustarvetta pyrittiin arvioimaan joillekin kuviolle. Jos epäillään, että taimikko on vajaatuottoinen, voidaan siihen ehdottaa näitä toimenpiteitä. Täydennysistutus tarkoittaa runkoluvultaan vajaatuottoisen tai aukkoisen taimikon täydentämistä kasvupaikalle sopivan puulajin taimilla. Vajaatuottoisena uudistaminen tarkoittaa kuvion sen hetkisen puuston raivaamista ja kasvupaikalle sopivan uudistamisketjun suorittamista uuden elinvoimaisen taimikon aikaansaamiseksi. Tästä esimerkkinä on kuivahkolle kankaalle laikutus tai äestys ja männyn kylvö. Näiden toimenpiteiden tarpeen arvioiminen on hankalaa sisätyönä tehtynä, mutta tuloksista selviää, miten tämä onnistuu. Tämän kaltaiset kohteet ovat harvassa, ne ovat muun muassa reheviä vanhoja maatalousmaita, suopeltoja ja ojitettuja turvemaita, joissa metsittymisestä ei ole täyttä varmuutta. Myös mekaanista heinäntorjuntaa ehdotettiin kohteille täydennysistutuksen tai uudistamisen yhteydessä.

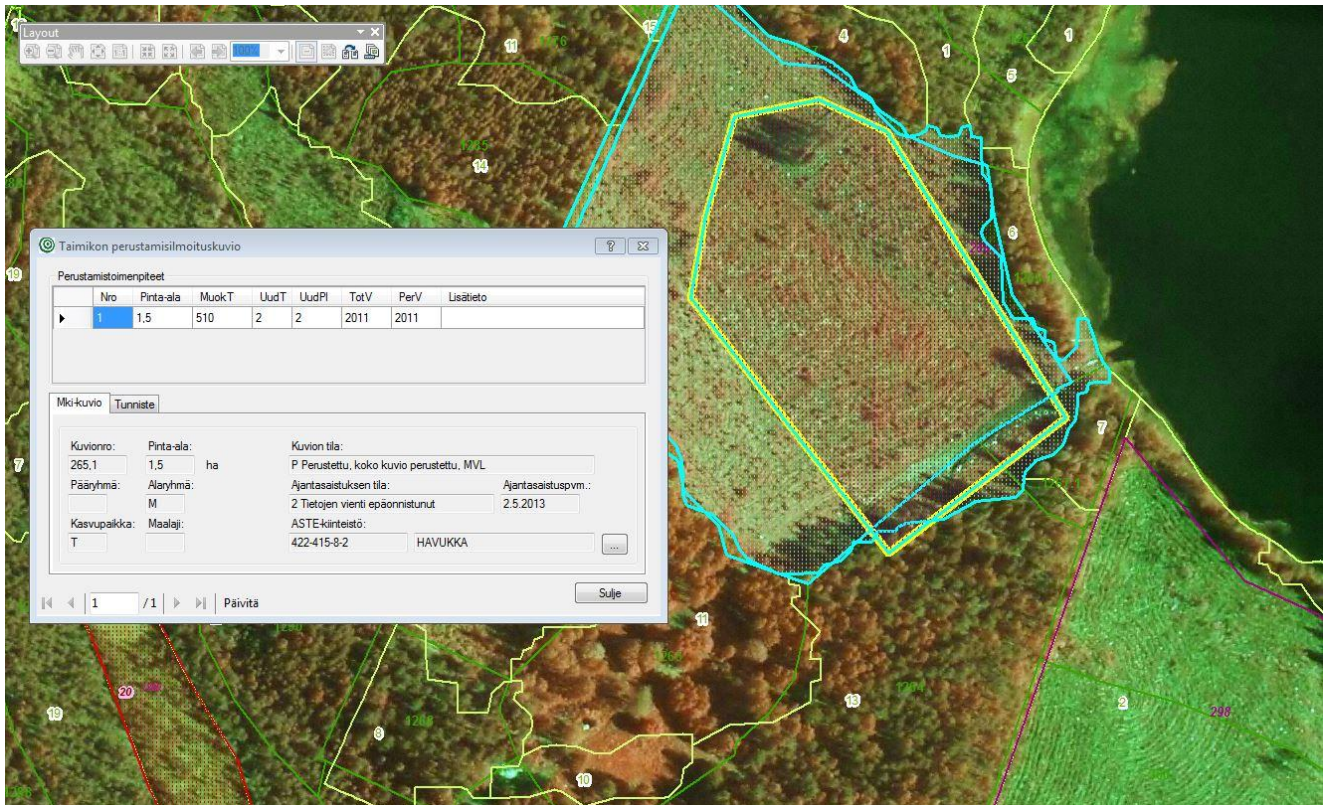
Ensimmäisenä toimenpidetarpeet arvioitiin luokittumattomille kuvioille, joita oli 120. Etäinventointia suoritettiin selaamalla XML-tiedostosta kuvion tunnistenumero, jonka avulla kuvio paikannettiin karttajoukon hakutyökalun avulla. Kuvioiden hakuprosessia on havainnollistettu kuvassa 8. Toimenpide-ehdotuksia laadittaessa hyödyksi käytettiin enimmäkseen taimikon perustamisilmoitus-kuvioita, metsänkäyttöilmoituksia, latvusmallia ja ilmakuvia. Myös Luotsi-tieto eli vanhojen metsäsuunnitelmien tieto oli erittäin hyödyllistä, jos se oli alle 10 vuotta

vanhaa tai sisälsi tietoa kuvion nykyisen kiertoajan puustosta eli tässä tapauksessa taimikosta. Luotsi-tiedosta yleistettyjä kuviotietoja, kuten ravinteisuutta ja maalajia käytettiin myös arvioinnin tukena. Myös KEMERA-kuvioita pystyttiin hyödyntämään, jos niitä oli saatavilla. Kaikkia näitä käytettiin myös mahdollisuuksien ja saatavuuden mukaan yhdistettynä mahdollisimman tarkan toimenpide-ehdotusten saavuttamiseksi. Kati Simasuu-menetelmä perustuu siis monilähdeinventointiin, jossa pyritään huomioimaan kaikki mahdolliset tietolähteet. Taimikon perustamisilmoituksen ja ilmakuvan yhdistelmäkäyttöä on havainnollistettu kuvassa 9.



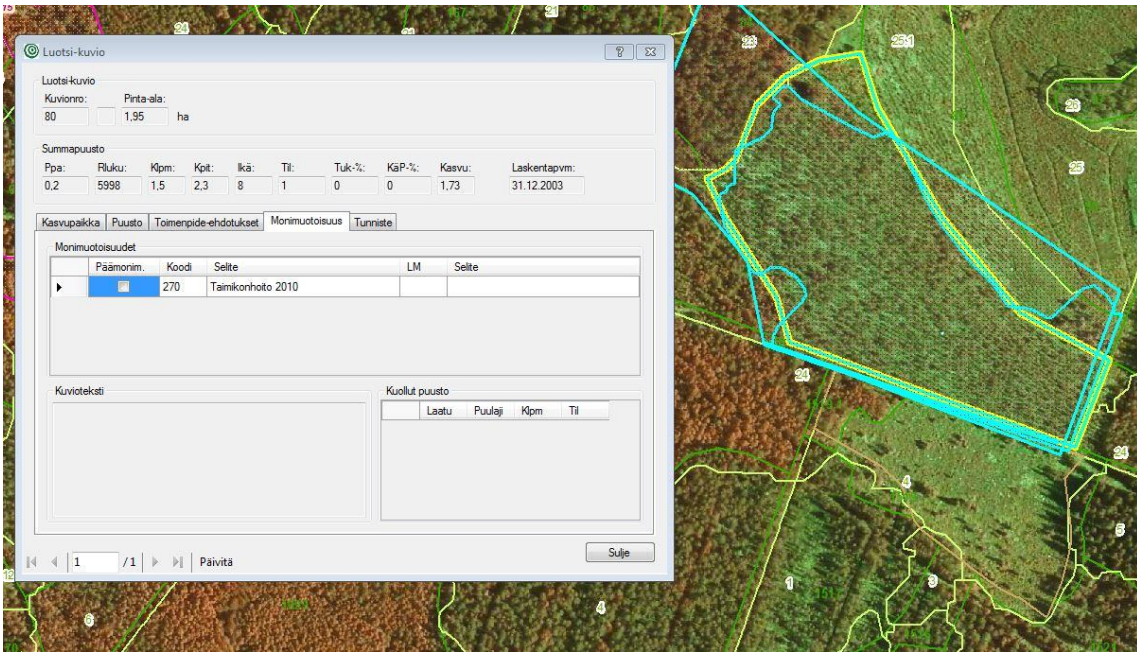
Kuva 8. Aarni-järjestelmän valintatyökalun käyttäminen aineiston kuvioita tarkastellessa.

Joidenkin kohteiden kohdalla ongelmaksi muodostui, ettei taimikon perustamisilmoitusta ollut ja Luotsi-tieto kuviolta oli liian vanhaa toimenpidetarpeen arvioimiseksi. Näille kohteille toimenpide-ehdotukset jouduttiin arvioimaan yleistettyjen kuviotietojen, metsänkäyttöilmotusten, ilmakuvien ja latvusmallin avulla. Tällaisien kuvioiden inventoinnista tuli melko tulkinnanvaraista ja hankalaa. Näitä kohteita on onneksi tällä hetkellä melko vähän Metsäkeskuksen tietokannassa. Tämän tyyppisille kuviolle maastotarkastus on varmasti suositeltavaa. Aineistoon oli myös valikoitunut muutama kuvio, joka oli pääryhmältään muu kuin metsämaa, vaikka niitä oli hakuehdoissa pyritty välttämään. Näitä olivat peltorekisteriin kuulumattomat maatalousmaat, tontit ja muun maankäytön kuviot. Kati Simasuu-inventointi vaiheessa tämän takia hylättyjä kuvioita tuli 4 kappaletta. Kuviot tulivat mukaan otantaan MVT-kuviotason virheellisyyden takia.



Kuva 9. Taimikon perustamisilmoitus-kuvion ja ilmakuvan käyttäminen etäinventoinnissa.

Edellä mainittuja lukuun ottamatta luokittumattomien kuvioden toimenpide-ehdotusten arviointi sujui vaivattomasti menetelmää käyttäen. Seuraavaksi sisätyön vaiheena arvioitiin hoitotarvetta 60 Aarni-järjestelmän puustotulkinnan mukaan varttuneelle taimikolle. Tämä vaihe oli lähinnä taimikonhoitotarpeen ja sen kiireellisyyden arviointia. Mukana oli myös kohteita, joihin vajaatuottoisena uudistaminen oli todennäköisesti paras ratkaisu. Suurinta apua varttuneempien taimikoiden inventoinnissa oli KEMERA-toimenpidekuvioista ja Luotsi-tiedoista. Mikäli Luotsi-kuvion tai KEMERA-kuvion mukaan taimikonhoito oli tehty, voitiin luonnollisesti siirtyä seuraavaan kuvioon. Mikäli KEMERA-kuviota tai Luotsi-tietoa ei kuvioista ollut, täytyi hoitotoimenpiteiden tarve päätellä ilmakuvan, keilaustiedon ja latvusmallin avulla. Tarkan ilmakuvan avulla voidaan päätellä ainakin kiireellisimmät hoidon tarpeessa olevat kohdet. Keilaustieto varttuneista taimikoista on vielä varsin epätarkkaa puuston keskimääräistä pituutta lukuun ottamatta. Myös aineiston T2-luokkaa etäinventoitaessa pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon tietolähteiden yhdistelmiä monilähdeinventointina mahdollisimman hyvän tuloksen saavuttamiseksi. Kuvassa 10 on havainnollistettu ilmakuvan ja Luotsi-kuvion yhdistelmäkäyttöä etäinventoinnissa.



Kuva 10. Luotsi-kuvion ja ilmakuvan käyttäminen etäinventoinnin apuna.

Kaikkien tutkimusaineistoon valikoituneiden kohteiden inventointiin meni noin 9 tuntia, johon voi laskea viivästyttäväksi tekijäksi jokaisen kohteen erillisen hakemisen karttajoukon valintatyökalulla ja alkukankeuden, sillä tutkimuksen työtapana vaati hieman totuttelua. Tästä huolimatta kaikki kohteet saatiin arvioitua hieman pidennetyn työpäivän aikana ja hehtaareina inventoidun metsävaratiedon saldo oli noin 450 hehtaaria, joka on todella paljon tehokkaammin kuin perinteinen maastoinventointi. Aineiston sisätyövaiheen valmistuttua excel-tiedosto tallennettiin ja se avattiin seuraavan kerran vasta tutkimuksen vertailuvaiheessa. Tämä tehtiin puolueellisten maastoinventointien välttämiseksi.

Tutkimuksessa etäinventoinnin tärkein painotettava asia oli perkaus- ja taimikonhoitotarpeiden arviointi, mutta pyrkimyksenä oli myös arvioida muiden metsänhoitotoimenpiteiden tarvetta. Niin kuin edellä mainittiin, joillekin kuviolle ehdotukseksi saatiin täydennysistutuksia tai vajaatuottoisena uudistamista. Muita ehdotettuja toimenpiteitä olivat mekaaninen raivaus ja heinäntorjunta. Näitä ehdotuksia sisätyössä tuli kuitenkin melko vähän ja nähtäväksi jää, onnistuuko näiden arviointi etäinventoinnilla ja onko niiden sisätyöarviointiin järkevää käyttää aikaa. Toimenpide-ehdotusten onnistumista päädyttiin vertailemaan viidellä eri toimenpiteellä: perkauksen, taimikonhoidon, täydennysistutuksen, muiden metsänhoitotöiden tai hakkuun ja vajaatuottoisena uudistamisen arviointien onnistuminen.

Pohjois-Karjalan alueelta ei ole olemassa tämän menetelmän pohjalle tehtyjä taimikoninventointimalleja, sillä tätä menetelmää ei ole ennen käytetty Pohjois-Karjalan alueella. Kati Si-

masuu-menetelmä on oppiva prosessi, jossa inventoinnin tekijä oppii tehtyjen arviointien ja maastotarkastusten perusteella. Tässä tutkimuksessa metsäneuvoja Jouni Karppinen oli ensikertalainen menetelmän soveltaja, millä saattaa olla vaikutuksia tuloksiin. Myös oppivan prosessin toimivuuden testaaminen jää tämän tutkimuksen ulkopuolelle, aiempaa kokemusta menetelmän käytöstä ei tältä alueelta, eikä inventoijalta ole.

2.2.2 Kohdennettu maastoinventointi

Tutkimuksen aineiston keruun maastovaiheen suoritti tutkielman tekijä Tero Putto. Kohdennettu maastoinventointi, tai lyhyemmin KOMI, tarkoittaa tietyn kuviojoukon valintaa, näiden kuvioiden inventointia maastossa ja tietojen palauttamista tietokantaan. Kohdennettua maastoinventointia on käytetty runsaasti viime vuosina Metsäkeskuksen Suomen laajuisen Metsään.fi-projektin laserkeilausalueiden taimikoiden ja aukeiden metsävaratiedon keräämiseen. Maastossa käydään arvioimassa kohteet, joille uusi inventointimenetelmä ei ole tuottanut riittävän luotettavia tietoja. Tarkistettavia kohteita ovat pääasiassa taimikot ja alueelle eityypilliset metsät (Metsäkeskuksen tiedonkeruu). Kohdennettuun maastoinventointiin valitaan ne kuviot, joilta ei saada riittävän luotettavaa tietoa kaukokartoituksella. Valinnassa tulee ottaa huomioon metsäkeskuksen viranomaistieto, kuten metsänkäyttöilmoitukset, taimikon perustamisilmoitukset, KEMERA tai muu esimerkiksi toimijoilta saatava paikkatieto, joilla voidaan vähentää maastossa tarkistettavia kohteita. Inventoinnissa pyritään kuitenkin keräämään kattavasti asetetut laatuksiteerit täyttävä metsävaratieto (Hyytiäinen 2011). KOMI työllistää maastokausittain kymmeniä metsäneuvoja sekä harjoittelijoita Metsäkeskuksen palveluksessa ja siihen sijoitettavat resurssit ja voimavarat ovat melko suuria. KOMI-tarvetta on pyritty vähentämään varttuneiden taimikoiden laserkeilaustulkintaa kehittämällä, jolloin saataisiin pienennettyä maastotarkastettavien kohteiden määrää ja siten nopeuttamaan keilausalueiden metsävaratietojen valmistumista (MMM... 2012). Nykyisillä keilausmenetelmillä tulkintatieto T1 ja A0 kehitysluokista on epätarkkaa ja kohdennettua maastoinventointia tullaan varmasti jatkamaan näillä kohteilla vielä pitkään. KOMI oli myös menetelmä, jolla tämän tutkimuksen maastovaiheen inventointi toteutettiin. Aineistoon valikoituneet kuviot sijaitsivat hajallaan työalueella, joka johti siihen, että niitä tuli vastaan silloin tällöin kesätyönä tehtyä normaalia Metsään.fi kohdennettua maastoinventointia suorittaessa. Tutkimusaineiston inventoinnin maastovaihe kesti tämän takia monta kuukautta ja puolueellisten toimenpide-ehdotusten tekeminen sisätyöarvioiden suuntaan puolueellisesti oli mahdotonta.

KOMI aloitetaan inventoitavien kohteiden valinnalla, joka on viime vuosina suoritettu Aarni-järjestelmän avulla. Metsään.fi projektissa inventointikohteet ovat lähes poikkeuksetta aukeita, taimikoita tai pienempiä nuoria kasvatusmetsiä. Kohteiden valinta suoritetaan ensisijaisesti keilaustiedon luokituksen laadun perusteella, jossa luokittumattomat ja T2-luokan kuviot valitaan otantaan. Valintaa voidaan myös helpottaa tekemällä latvusmallista muokattu versio, jossa näkyy pelkästään yli 7 metriä korkea latvuksen korkeusmalli. Valitut kuviot tallennetaan siirtoeriksi Aarni-järjestelmän kautta. Siirtoerä sisältää yleensä 5-20 inventoitavaa kuviota riippuen käytettävän maastotallentimen suorituskyvystä ja inventoijan työskentelytahdistista. Uudet tallentimet ovat nykyään niin tehokkaita, että niiden siirtoerien käsittelykyky mahdollistaa suuremmatkin siirtoerät. Tämän jälkeen siirtoerä siirretään tallentimelle, jossa sitä voidaan käsitellä tallentimen ohjelman (AarniPDA) kautta maastossa. Nykyisiä tallentimia pystytään jo periaatteessa käyttämään jo työasemina, joka mahdollistaa siirtoerien tekemisen itse tallentimella, jolloin KOMI ei enää vaadi erillistä tietokonetta työasemaksi. Siirtoerän tallentimelle siirtämisen jälkeen seuraava vaihe inventoinnissa on maastoon ja kohteille siirtyminen, joka onnistuu parhaiten lähestymiskartan ja GPS-sovelluksen avulla. GPS löytyy lähes kaikista nykyisistä tallentimista, mikä helpottaa suunnistamista myös kohteilla. Pyrkimyksenä on päästä mahdollisimman autolla tai muulla kulkuneuvolla mahdollisimman lähelle kohdetta ja siirtyä loppumatka kohteelle jalan.

Kohdennettu maastoinventointi tapahtuu satunnaiskoealamenetelmällä. Koealoina käytetään 3,99 metrin ympyräkoealoja (kuva 11), joita otetaan kuvion kokoon nähden sopiva määrä, joka on inventoijasta riippuvainen. Koealalta mitataan runkoluku, mediaanipuun pituus ja läpimitta puulajeittain. Kohteen lopullinen puustorivi saadaan mitattujen koealojen keskiarvosta. Puusto- ja kuviotietojen merkitsemisessä käytetään perinteistä SOLMU-järjestelmää, jonka pohjalle AarniPDA kuviotietojärjestelmä perustuu. Mikäli siirtoerän otantaan on tullut mukaan jo nuoren kasvatusmetsän järeyden täyttävä metsikkö voidaan koealat ottaa myös relaskooppi-menetelmällä, nämä kuviot eivät kuitenkaan ole relevantteja tässä tutkimuksessa. Puustotietojen lisäksi kohteilta päivitetään tarpeen vaatiessa myös muut kuviotiedot. Kuviotiedoilla tarkoitetaan kasvupaikkatyyppiä, maalajia, kuivatustilannetta yms. Päivittäminen ja korjaaminen tehdään, jos Luotsi-tiedoista tehty yleistys on virheellinen, vanhentunut tai sitä ei ole. Tästä esimerkkinä ojikko, joka on jo kuivunut turvekankaaksi tai väärä kasvupaikkatyyppi. Myös inventoitavalla kuviolla suoritettujen metsänhoitotoimenpiteet kirjataan kuviotietojen tekstiosioon.



Kuva 11. Havainnollistus ympyräkoealan ottamisesta (Kuva: metsälehti.fi).

Toimenpide-ehdotus tehdään koaloilla mitattujen puustotietojen, kuvion yleisilmeen ja Tapi-
on hyvän metsänhoidon suositusten (2006) perusteella. Metsänomistajille pyritään neuvo-
maan toimenpiteet, joiden avulla saadaan aikaan mahdollisimman elinvoimainen, hyväkas-
vuinen ja taloudellisesti kannattava metsikkö mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Toi-
menpiteen ehdottaminen perustuu siis kustannus-hyöty -suhteen arvioimiseen. Taimikoita
inventoitaessa suositetaan edellä mainittua kahden hoidon mallia (perkaus ja taimikonhoito),
jotka ovat yleisimmät tarvittavat hoitotoimenpiteet. Kuvassa 12 on havainnollistettu tyypillis-
tä hoitamatonta taimikkoa, jossa hoitotarve on kiireellinen. Kohdennetun maastoinventoinnin
viimeinen vaihe maasto-osuuden jälkeen on siirtoerän palautus takaisin Metsäkeskuksen tie-
tokantaan ja palautuksen hyväksyminen.



Kuva 12. Hoitamaton taimikko ja metsuri taimikonhoidossa (Kuva: metla.fi).

2.2.3 Maasto- ja sisätöaineistojen järjestäminen vertailukelpoiksi

Kun aineiston maastoinventointi oli suoritettu ja MVt-kuvioiden tiedot päivitetty luotiin päivitetystä kuvioista myös uusi shapefile karttataso, sillä joidenkin kuvioiden geometriat muuttivat hieman maastoinventoinnin seurauksena. Kuvioista tuotiin myös XML-tiedosto, jonka avulla saatiin maastossa mitatut puustotiedot, ehdotetut toimenpide-esitykset sekä niiden kiireellisyys. Tämän jälkeen XML-tiedostosta haettiin kuviokohtaiset toimenpide-ehdotukset ja siirrettiin Excel-taulukkoon.

Tässä vaiheessa molempien inventointitapojen toimenpide-ehdotukset ja kiireellisyys olivat Excel-muotoisia. seuraava ongelma oli joidenkin kuvioiden muuttuneet tunnistetiedot. Tämä muutos johtui maastoinventoinnin yhteydessä tapahtuvasta kuviogeometrioiden muutoksesta, joidenkin kuvioiden osalta. Näitä kuvioita oli aineistossa noin 15 kappaletta. Näitä kuvioita saatetaan maastoinventoinnissa jakaa tai yhdistellä, mikäli tarve vaatii. Esimerkiksi, jos kahden vierekkäisen kuvion toimenpide-ehdotus on sama, yhdistettiin ne yhdeksi kuvioksi maastoinventoinnin yhteydessä. Tätä tapahtui, koska MVt-kuviointi ei rajaa kaikkia taimikoita täydellisen tarkasti ja Metsäkeskuksen maastoinventointilinjaus on pitää kuviokoko mahdollisimman suurena. Kuviot ovat jakamisen tai yhdistämisen jälkeen samalla paikalla, mutta niiden tunnistetiedot saattavat muuttua tai niiden rajoja saatetaan joutua digitoimaan hieman erilailla. Muuttuneet geometriat tai tunnistetiedot aiheuttivat ongelmia aineiston vertailussa. Nämä piti sovittaa yhteen alkuperäisten toimistossa inventoitujen kuvioiden kanssa.

Aineiston kaikki kuviot järjestettiin siten, että jokaisella aineiston kuviolla on sekä Kati Sima-suu-menetelmällä ehdotettu toimenpide, että maastossa ehdotettu toimenpide. Kuviot, joiden tunnistetiedot muuttuivat maastovaiheen jälkeen, etsittiin manuaalisesti Aarni-järjestelmästä etäinventointia varten luodun karttatason avulla. Muuttuneet kuvionumerot korjattiin vastaa-

maan toisiaan ja saatiin aikaan aineisto, jossa jokaisella kuviolla oli toimenpide-ehdotukset sekä maasto-, että sisätyöinventoinnista. Yhdistettyjen kuvioiden kohdalla jouduttiin maastoaineistoon luomaan ylimääräinen kuvio, jotta saatiin yhdistämisen yhteydessä poistunut kuvio paikattua. Vastaavasti, jos maastoinventoinnissa aineistoon kuulunut kuvio jaettiin kahdeksi erilliseksi kuvioksi, jouduttiin sisätyöaineistoon luomaan yksi kuvio edustamaan jakamisen seurauksena syntyneitä toista kuviota. Yhdistettyjä ja jaettuja kuvioita paikkaamaan luotuihin kuvioihin syötettiin samat toimenpide-ehdotukset.

2.2.4 Aineistojen vertailu

Kun aineisto oli inventoitu sekä sisätyönä, että kohdennetulla maastoinventoinnilla, molempien tuloksista oli tuotu XML- ja Excel-tiedosto, yhteensovittaminen oli saatu valmiiksi, aineiston kaikilla kuviolla oli sekä sisätyö, että maasto toimenpide-ehdotukset ja yhteensopivat tunnistetiedot, oli aika siirtyä saatujen toimenpide-ehdotusten vertailuun.

Toimenpide-ehdotuksia oli monia erilaisia, joka vaikeutti huomattavasti tehokkaan vertailun tekemistä. Tämän takia toimenpideluokkia piti supistaa ja lopulliksi vertailtaviksi toimenpiteiksi valittiin: Varhaisperkaus, taimikonhoito, täydennysistutus, muu metsänhoitotyö tai hakkuu ja uudistaminen vajaatuottoisena. Muihin maankäyttöluokkiin kuuluviin kohteisiin ei esitetty metsänhoitotoimenpiteitä. Suurin osa ehdotetuista toimenpiteistä oli perkauksia ja taimikonhoitoja, joten suurin osa vertailusta painottui näiden toimenpiteiden tulkintojen vertailemiseen. Täydennysistutuksen tarvetta oli myös joillain kuvioilla ja tätä yritettiin arvioida mahdollisimman hyvin myös sisätyönä. Muu metsänhoitotyö tai hakkuu tarkoittaa tässä tutkimuksessa heinätorjuntaa tai mekaanista raivausta. Näitä toimenpiteitä ehdotettiin yleensä täydennysistutuskohteille ja uudistamistarpeen yhteydessä. Hakkuilla tarkoitetaan ylispuiden poistoa, jota ehdotettiin selville Y1-luokan kohteille. Nämä toimenpiteet on tiivistetty yhdeksi vertailuluokaksi, sillä niitä oli ehdotettu aineiston kuvioista melko pienelle osalle. Vajaatuottoisena uudistamista ehdotettiin todennäköisesti vajaatuottoisille metsikkökuviolle ja taimikoille, joissa ei todennäköisesti ole uudistettu tai syntynyt kehityskelpoista taimikkoa tai epäillään, että kuviolla kasvaa kasvupaikalle kelvotonta puulajia, esimerkiksi kuusi liian karulla maalla tai hieskoivu kivennäismaalla.

Aineistosta tehtiin kaksi erilaista vertailua: toimenpidekohtaisesti, eli perkaus, taimikonhoito, täydennysistutus, muu mh-työ/hakkuu ja uudistaminen vajaatuottoisena vertailtiin onnistuneiden ehdotusten määrää ehdotettujen määrään nähden toimenpiteittäin. Toinen vertailu tapah-

tui siten, että vertailussa otetaan huomioon kuvion onnistuminen Metsään.fi-palveluun riittäville kriteereillä. Tämä tarkoittaa arvioinnin onnistumista siten, että vertailussa tarkastellaan taimikonhoidon, perkauksen, uudistamisen ja pääryhmän oikein arvioimisen inventointien oikeinluokittumista.

Toimenpidekohtaisessa vertailussa laskettiin ensin toimenpiteen sisäehdotuksien määrä, jonka jälkeen laskettiin, suuri osa näistä ehdotuksista vastasi maastoehdotuksen ajankohtaa. Tämä tehtiin kaikkien viiden toimenpiteen kohdalla. Toimenpide-ehdotusten virhe selvitettiin laskemalla toimisto- ja maastoehdotusten ajankohtien erotuksen itseisarvo. Vertailua on havainnollistettu kuvassa 13. Toimenpidekohtaisessa vertailussa laskettiin ensin count -funktiolla kaikki kuviot, joille ehdotus oli esim. perkaus ja tämän jälkeen käytiin läpi, kuinka monella kuviolla näistä ajankohta osui alle 3, 2 ja 1 vuoden sisälle maasto ja sisätyöehdotusten välillä prosentuaalisesti. Alle 3 vuoden, eli 2 vuoden marginaali on hyväksyttävä, sillä siinä toimenpiteet osuvat varmasti ainakin samalle viiden vuoden suunnittelukaudelle. Oikein tulkittujen ehdotusten määrä laskettiin Excelin avulla kaavalla:

$$\text{Oikein tulkittuja ehdotuksia (lkm.)} = \text{COUNTIF}(\text{ABS}(X-Y), "< Z") \quad (1)$$

, jossa X = sisätyöehdotuksen ehdotusvuosi, Y = maastoehdotuksen ehdotusvuosi ja Z = hyväksytty virhemarginaali. Tämä kaava toistettiin koko aineistolle jokaisen toimenpiteen itseisarvosarakkeelle, josta saatiin onnistuneiden arvioiden määrä.

Vertailussa otettiin myös huomioon mikäli kyseinen sisätyössä ehdotettu hoitotyö, perkaus tai taimikonhoito oli jo tehty ja tämä huomattiin vasta maastoinventoinnin yhteydessä. Tämän kaltaisessa tilassa olevat kuviot jätettiin vertailun ulkopuolelle, sillä tehtyä hoitotyötä on mahdoton huomata etäinventointivaiheessa, jos hoitotyöstä ei ole KEMERA-kuviota ja se on suoritettu ilmakuvauksien jälkeen. Tässä tilanteessa olevia kuvioita sattui aineistoon jonkin verran ja niistä suurin osa oli tehtyjä taimikonhoitoja, joita oli 14 kappaletta, kun taas perkauksia oli vain 3 kappaletta. Tämä johti aineistosta yhteensä 17 kuvion jättämistä vertailujen ulkopuolelle. Periaatteessa jo tehdyt hoitotyöt voisi tulkita onnistuneeksi etäinventoinniksi, sillä ne on ehdotettu kuvausvuoden ilmakuvan tai muun aineiston perusteella ja Metsään.fi palvelussa metsänomistajan on helppo kuitata samalle vuodelle ehdotettu hoitotyö tehdyksi. Poistamalla nämä kuviot vertailusta saadaan kuitenkin harhaton tulos, eikä tällöin tarvitse pohtia, onko tehty hoitotyö oikein vai väärin tulkittu tulos etäinventoinnin kannalta. Vertailun suorittamista

Excelin avulla on havainnollistettu kuvassa 13. Tässä kuvassa nähdään myös vertailusta hylättyjä kuvioita, jossa ehdotettu toimenpide oli suoritettu kesän 2013 aikana.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	kuvio_id		Perkaus (660)			Taimikonhoito (740)			tä
2	Toimisto	Maasto	Toimisto	Maasto	Ero	Toimisto	Maasto	Ero	T
3	9184171	9184171			0			0	
4	9184300	9184300	2016	2018	2	2023		2023	
5	9184325	9184325			0			0	
6	9184392	9184392	2016	2016	0	2023	2023	0	
7	9184412	9184412			0	2015	2017	2	
8	9184511	9184511	2014	2015	1	2021	2023	2	
9	9184527	9184527			0			0	
10	9184555	9184555			0	2014	tehty!	#VALUE!	
11	9184779	9184779			0	2020	2019	1	
12	9184950	9184950			0			0	
13	9185120	9185120	2019	2018	1			0	
14	9185122	9185122			0	2016	tehty!	#VALUE!	
15	9185128	9185128			0	2016	tehty!	#VALUE!	
16	9185684	9185684			0	2015	2014	1	
17	9185707	9185707	2016	2017	1	2023		2023	
18	9185719	9185719	2016		2016	2023	2021	2	
19	9185721	9185721	2016	2017	1	2023		2023	
20	9185944	9185944		2014	2014	2014	2022	8	

Kuva 13. Esimerkki aineiston vertailusta Excel-taulukon avulla.

Toimenpidekohtaisen vertailun oikein tulkituista ehdotuksista laskettiin keskineliövirheet kaavalla:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

, jossa n = Onnistuneiden ehdotusten lukumäärä, x_i = Sisätyöehdotuksen ehdotusvuosi, y_i = maastoehdotuksen ehdotusvuosi.

Kuvioiden kokonaisvaltainen vertailu tapahtui tarkastelemalla perkauksen, taimikonhoidon, uudistamisen ja pääryhmän oikein arvioinnin onnistumista. Täydennysistutusta ja muita metsänhoitotoimenpiteitä ei otettu mukaan tähän vertailuun, sillä nämä toimenpiteet eivät ole kriittisessä asemassa tämän tutkimuksen, eikä Metsään.fi-palvelun kannalta. Kuviokohtaisesta

vertailusta tehtiin 2 eri versiota, jossa toisessa tulkittiin perkaus ja taimikonhoito erillisinä toimenpiteinä. Toisessa versiossa perkaus ja taimikonhoito tulkittiin samana toimenpiteenä, mikä lisäsi onnistumisprosenttia. Kuviot, joissa ehdotettu hoitotyö oli jo suoritettu, jätettiin myös kuviokohtaisien vertailujen ulkopuolelle epävarmuuden minimoimiseksi.

Kuvio luokiteltiin onnistuneeksi 1. version vertailussa, jos se täytti seuraavat kriteerit:

- Perkaus- tai taimikonhoitoehdotuksen arvio ehdotus 2 vuoden marginaaliin
- Uudistamisehdotuksen ehdotus osui 2 vuoden marginaaliin
- Kuvion pääryhmä on arvioitu oikein (metsämaa tai muu pääryhmä)

Kuvio luokiteltiin onnistuneeksi 2. version vertailussa, jos se täytti seuraavat kriteerit:

- Perkaus tai taimikonhoito tulkittuna samana toimenpiteenä ehdotus osui 2 vuoden marginaaliin
- Uudistamisehdotuksen ehdotus osui 2 vuoden marginaaliin
- Kuvion pääryhmä on arvioitu oikein (metsämaa tai muu pääryhmä)

Kriteerejen täytyminen tarkastettiin kuvio kerrallaan manuaalisesti Excel-taulukosta. Molemmissa vertailuversioissa sallitaan niin sanottu yhden taimikonhoidon strategia, jossa perkaus jätetään pois, jos kuviolla on vähän tai ei lainkaan pääpuulajia häiritsevää vesakkoa. On kuitenkin todettu, että ainakin 90 % nuorista taimikoista perkaustarve on ainakin osalla kuviota, joten perkaus ei suurimmassa osassa tapauksista mene hukkaan, vaikka sitä olisikin ehdotettu etäinventoinnissa ja maastoinventoinnissa olisi päädytty yhden taimikonhoidon strategiaan. Vertailun toisessa versiossa perkaus ja taimikonhoito tulkittiin samana toimenpiteenä, koska haluttiin selvittää, miten se vaikuttaa tuloksiin. Metsään.fi-palvelun tärkein tavoite on aktivoida metsänomistajia suorittamaan hakkuita ja metsänhoitotoimenpiteitä metsissään. Jos perkaus tai taimikonhoito on ehdotettu oikeaan ajankohtaan ja metsänomistaja saadaan aktivoitua hoitotöihin, on Metsään.fi-palvelun tavoite saavutettu. Jossain tapauksissa ehdotetun perkauksen kustannukset ovat samaa luokkaa taimikonhoidon kustannuksien kanssa. Tässä tilanteessa nämä hoitotoimenpiteet ovat käytännössä sama asia. Esimerkkinä tällaisesta tilanteesta mäntytaimikko, jota ei ole perattu ajoissa ja 3-4 metrisiksi kasvaneet lehtipuut ovat varjostaneet. Tässä tapauksessa männyn taimet ovat yleensä alle 2 metrisiä ja toimenpide sen perusteella olisi perkaus, mutta lehtipuiden pituuden perusteella työn haastavuus ja kustannus on lähempänä taimikonhoitoa, kuin perkausta.

Vajaatuottoisena tai muusta syystä uudistamistarpeen arvioinnin epäonnistumisen ja pääryhmän virheellinen arviointi sisäinventoinnissa johti kuvion hylkäämiseen, sillä tällainen epäonnistuminen on melko suuri inventointivirhe, verrattuna esimerkiksi täydennysistutusehdotuksen epäonnistumiseen verrattuna. Pääryhmän ja taimikon kehityskelpoisuuden arviointi tulisi tulkita oikein, että inventoinnin laatu olisi riittävä Metsään.fi-palveluun.

Sekä toimenpidekohtaisesta, että kuviokohtaisesta vertailusta laskettiin oikeintulkittamisen osuus kaavalla:

$$\text{Oikeintulkittamis-\%} = \frac{n.\text{oikein}}{n} \times 100 \quad (3)$$

, jossa n.oikein = oikein tulkittujen ehdotusten lukumäärä tai oikein tulkittujen kuvioiden lukumäärä, n = ehdotusten lukumäärä tai kuvioiden lukumäärä.

3 TULOKSET

3.1 Aineiston vertailujen tulokset

Taulukosta 1 voidaan tarkastella toimenpidekohtaisten vertailujen tuloksia kahden vuoden virehmarginaalilla. Tuloksista voidaan huomata, että täydennysistutuksen, muiden metsänhoitotöiden tai hakkuiden, uudistamisen ja muun pääryhmän luokittamisen tulokset ovat selvästi heikompia, kuin perkauksen ja taimikonhoidon.

Taulukko 1.2 vuoden marginaalin sisällä oikein tulkitut toimenpide-ehdotukset.

	Perkaus	Taimikonhoito	Täydennys- istutus	Muu MH- työ/hakkuu	Uudistaminen	Muu kuin metsämaa
Ehdotetut, n	96	116	13	24	15	8
Oikein, n	62	81	0	8	7	4
Oikein, %	64,6	69,8	0	33,3	46,7	50

Perkauksen toimenpidekohtaisessa vertailussa onnistuneita ajankohdan arvioita on 64,6 %, mikä on kohtalainen tulos. Virheellisiin perkauksen arviointeihin on johtanut varmasti moni tekijä, joita tarkastellaan tarkemmin tulosten tarkastelu osiossa. Taimikonhoitoehdotuksia tuli

aineistossa enemmän, kuin perkausedotuksia, näistä ehdotuksista 2 vuoden marginaalilla onnistuneita oli n. 70 %, mikä on toimenpidekohtaisten vertailujen paras tulos. Tämä kertoo siitä, että taimikonhoitotarvetta ja ajankohtaa on helpompi arvioida kuin perkaustarvetta. Täydennysistuksen oikeintulkitsemisprosentiksi saatiin 0, muiden metsänhoitotoimenpiteiden/hakkuiden tulokseksi saatiin 33,3 %, vajaatuottoisena uudistamisen prosentiksi saatiin 46,7 ja muuksi kuin metsämaaksi luokittamisen ehdotuksista luokittui oikein 50 prosenttia.

Yhden vuoden marginaalia ei käytetty kuin perkauksen ja taimikonhoidon vertailussa, sillä muita toimenpiteitä kaikki arviot osuivat joko täysin samalle vuodelle tai olivat virheellisiä. Taulukosta 2. huomataan, että marginaalin pienentyessä vuoteen onnistumisprosentit laskevat melko paljon molempien toimenpiteiden kohdalla, perkauksessa 51 prosenttiin ja taimikonhoidossa 59,5 prosenttiin.

Taulukko 2. 1 vuoden marginaalin sisällä oikein tulkitut arviot perkaukselle ja taimikonhoidolle.

	Perkaus	Taimikonhoito
Ehdotetut, n	96	116
Oikein, n	49	69
Oikein, %	51,0	59,5

Marginaalin pienentyessä nolnaan, eli haettaessa täysin samalle ehdotusvuodelle onnistuneita arviointeja onnistumisprosentti laskee dramaattisesti alle kolmasosaan 2 vuoden marginaalin tuloksista. Tämä osoittaa sisätyöarvioinnin täysin samalle vuodelle onnistumisen epävarmuuden. Samalle vuodelle onnistuneet sisätyöarvioinnin arviot ovat tarkasteltavissa taulukossa 3., josta huomataan, että perkauksen oikeintulkitsemisprosentti on 18,8 ja taimikonhoidon 11,2.

Taulukko 3. 0 vuoden virhemarginaalin sisällä oikein tulkitut arviot perkaukselle ja taimikonhoidolle.

	Perkaus	Taimikonhoito
Ehdotetut, n	96	116
Oikein, n	18	13
Oikein, %	18,8	11,2

Taulukosta 4 voidaan tarkastella oikein tulkittujen toimenpidekohtaisten vertailujen keskineliövirhettä. Onnistuneiden perkausedotusten keskineliövirheeksi saatiin 1,16 vuotta, joka

osoittautui pienemmäksi kuin taimikonhoitoehdotusten keskineliövirhe 1,33 vuotta. Muiden toimenpideluokkien oikein luokitettujen toimenpide-ehdotusten keskineliövirhe oli 0, eli kaikki onnistuneet ehdotukset osuivat täysin samalle vuodelle sisätyö- ja maastoehdotuksissa.

Taulukko 4. Oikein tulkittujen toimenpidekohtaisten vertailujen keskineliövirheet vuosina.

Toimenpide	RMSE, y
Perkaus	1,16
Taimikonhoito	1,33
Täydennysistutus	0
Muu mh.työ/hakkuu	0
Uudistaminen	0

Kuviokohtaisesta vertailusta tehtiin kaksi erilaista versiota. Kuten menetelmä osiossa mainittiin, ensimmäisessä versiossa perkaus ja taimikonhoito luokiteltiin erillisinä toimenpiteinä ja toisessa versiossa ne luokiteltiin samana toimenpiteenä. Tarkoituksena oli tarkastella, miten tämä vaikuttaa oikeintulkittamisosuuteen. Kuviokohtaisten vertailujen tuloksia voidaan tarkastella taulukosta 5. Tuloksista huomataan, että molemmissa vertailuversioissa oikeintulkittamisosuudet ovat melko hyvät, toimenpiteet erillisenä 73 % ja samana noin 79,8 %. Toimenpiteiden yhdistäminen tuotti onnistumisprosenttiin melko pienen nousun, eli 6,8 yksikköä. Kuviokohtaisen vertailun tuloksien perusteella Kati Simasuu-menetelmä on melko käyttökelpoinen Metsään.fi-palvelun metsävaratiedon keruun kannalta, jos toimenpide-ehdotuksille sallitaan 2 vuoden virhemarginaali.

Taulukko 5. Kuviokohtaisessa vertailussa oikein tulkitut kuviot 2 vuoden virhemarginaalilla.

	Versio 1	Versio 2
Yhteensä, n	163	163
Oikein, n	119	130
Oikein, %	73,0	79,8

Kun kuviokohtaista vertailua pilkotaan pienempiin osiin, huomataan, että aineiston T2-luokasta valitut kuviot luokituvat oikein 2 vuoden marginaalilla paremmalla prosentilla, kuin luokittumattomat kuviot. Taulukosta 6. voidaan tarkastella tuloksia näiden kahden luokan välillä ja huomata, että perkauksen ja taimikonhoidon ollessa sama toimenpide on T2-luokan kuvioiden toimenpide-ehdotuksen arvion onnistuminen todella korkea 94 % ja myös erillisinä toimenpiteinä 82 %. Luokittumattomien kuvioiden oikeintulkittamisprosentit ovat hieman matalampia, vertailun versiossa 1: 69 % ja versiossa 2: 73,5. Luokittumattomien kuvioiden

oikeintulkitemisprosenttiin vertailun 2 eri versiota eivät vaikuta suuresti, sillä ero 1 ja 2 version välillä on vain 4 %, kun taas T2-luokan kuvioilla versioiden ero 12 %.

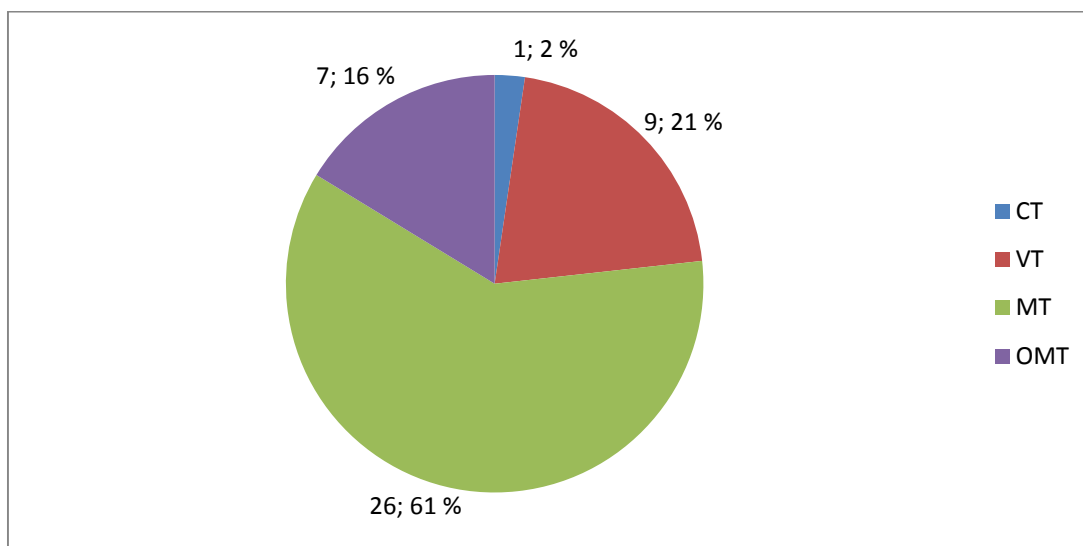
Taulukko 6. Kuviokohtaisessa vertailussa oikein tulkitut kuviot 2 vuoden virhemarginaalilla luokittumattomat kuviot ja varttuneet taimikot eritellen.

	Luokittumattomat		T2	
	Versio 1	Versio 2	Versio 1	Versio 2
Yhteensä, n	113	113	50	50
Oikein, n	78	83	41	47
Oikein, %	69,0	73,5	82	94

3.2 Tulkintavirheiden analysointi

Tuloksiltaan virheellisesti tulkittuja kuvioita pyrittiin tarkastelemaan mahdollisimman kattavasti, jotta niistä voitaisiin löytää yhtäläisyyksiä maastotarkastusten parempaa kohdentamista varten. Tarkasteluun otettiin kuviokohtaisen vertailun 1. versiossa virheellisesti tulkitut 44 kuviota, eli ns. tiukempien kriteerien mukaan virheellisesti tulkitut kuviot. Kuvasta 14 voidaan tarkastella virheellisesti tulkituiksi luokiteltujen kuvioiden kasvupaikkatyyppi jakaumaa ja kuvasta 15 maalaji jakaumaa. Näistä kuvista pääteltynä virheellisesti tulkittujen kuvioiden jakaumat näyttävät melko samanlaisilta, kuin kuvien 3 ja 4 koko aineiston jakaumat, eli kasvupaikoissa tuore kangas ja maalajeista karkea tai keskikarkea kangasmaa ovat eniten edustettuja ryhmiä. Nämä kuvat eivät anna tietoa siitä, mihin maastotarkastuksia kannattaisi sijoittaa, mutta prosentuaaliset osuudet koko aineistosta kasvupaikka- ja maalajikohtaisesti paljastavat paremmin, mitä maalajia tai kasvupaikkaa edustavat kuviot ovat todennäköisimmin virheellisesti tulkittuja. Näitä osuuksia on havainnollistettu taulukoissa 7 ja 8, joista voidaan huomata, että rehevämpään kasvupaikkaan siirryttäessä virhetulkinnan osuus kasvaa ja maalajiltaan hienojakoiset kankaat tai ojitetut turvemaat luokitteivat virheellisiksi myös herkemmin.

Kuvasta 14 voidaan havaita, että MT kasvupaikkojen osuus virheellisesti tulkituista kuvioista on 61 % ja OMT kasvupaikkojen osuus 16 %. Nämä osuudet ovat suurempia, kuin mitä ne olivat koko aineistoa kuvanneessa kuvassa 4. VT kasvupaikkatyyppiä esiintyy 21 % ja CT kasvupaikkatyyppiä vain 2 %. Karumman kasvupaikan kuviot ovat siis vähäisempänä edustettuina tässä, kuin kuvassa 4.



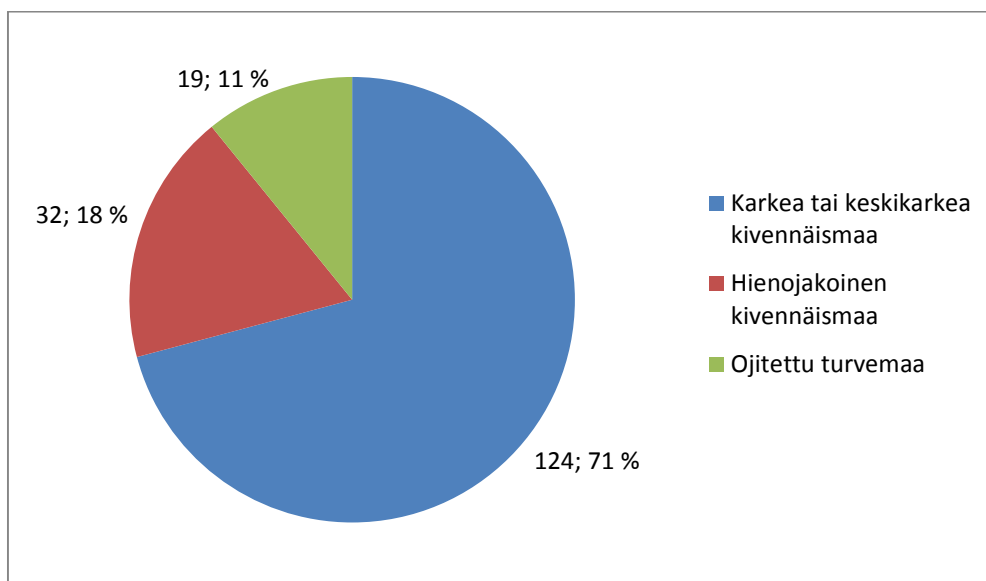
Kuva 14. Ympyrädiagrammi virheellisesti tulkittujen kuvioiden kasvupaikkatyyppien jakaumasta sekä niiden lukumäärät ja osuudet.

Taulukosta 7 voidaan havaita melko selkeästi, että ravinteikkaammalla kasvupaikalla eli lehtomaisilla kankailla virheellisesti tulkittujen kuvioiden suhteellinen osuus koko aineistossa esiintyviin lehtomaisen kankaan kuvioihin on huomattavasti suurin, noin 39 %. Myös tuoreilla kankailla ja sitä vastaavilla turvemaidella virheellisesti tulkittujen prosentti on huomattavasti korkeampi, eli noin 27 %, kuin karummilla mailla. Kuivahkoilla ja kuivilla kankailla virheellisesti tulkittujen osuudet ovat selkeästi pienemmät (12,5 ja 17,6 %), kuin ravinteikkaampien kasvupaikkojen kuvioilla.

Taulukko 7. Virheellisesti tulkittujen kuvioiden prosentiosuudet kasvupaikoittain niiden kokonaismäärän nähden.

Kasvupaikka	CT	VT	MT	OMT
Virheellinen, n	1	9	26	7
Yhteensä, n	8	51	98	18
Virheellinen, %	12,5	17,6	26,5	38,9

Virheellisesti tulkittujen kuvioiden maalajijakaumaa voidaan tarkastella kuvasta 15. Karkean tai keskiarkean kivennäismaan osuus on 71 %, hienojakoisen kivennäismaan osuus 18 % ja ojitettujen turvemaiden osuus 11 %. Kuvaajan perusteella ei käy ilmi, että jonkin maalajin kuviot olisivat suuremmalla todennäköisyydellä virheellisesti tulkittuja koko aineistoa kuvaavan jakauman suhteen. Karkean tai keskikarkean kivennäismaan osuus on itseasiassa hieman suurempi tässä, kuin kokoaineiston suhteessa ja kahden muun maalajin osuudet jäävät melko vähäisiksi.



Kuva 15. Ympyrädiagrammi virheellisesti tulkittujen kuvioiden maalajien jakaumasta sekä niiden lukumäärät ja prosenttiosuudet.

Taulukossa 8 huomataan, että karkeilla ja keskikarkeilla kivennäismailla suhteellinen virheellisesti tulkitsemis prosentti 20,8 on pienempi, kuin muilla maalajeilla, joista hienojakoisilla kivennäismailla se on 34,4 % ja ojitetuilla turvemaailla 36,8. Myös lisämääre ”1040”, eli entinen maatalousmaa on otettu mukaan tarkasteluun. Puolet (50 %) kuvioista, joilla lisämääre esiintyy, ovat virheellisesti tulkittuja kuvioita.

Taulukko 8. Virheellisesti tulkittujen kuvioiden määrät ja prosenttiosuudet maalajeittain niiden kokonaismäärään nähden.

Maalaji	Karkea	Hienojakoinen	Turvemaa	Entinen maatalousmaa
Virheellinen, n	25	11	7	4
Yhteensä, n	124	32	19	8
Virheellinen, %	20,2	34,4	36,8	50,0

Viimeisenä tarkasteltavana tekijänä vertailussa virheellisesti tulkituista kuvioista oli tärkeiden tietolähteiden määrät ja prosenttiosuudet. Näitä ovat taimikon perustamisilmoitus-, KEMERA- ja samalta kiertoajalta tietoa sisältävät Luotsi-kuviot. Taulukosta 9 käy ilmi, että suurella osalla virheellisesti tulkituista kuvioista ei ollut saatavilla taimikon perustamisilmoituskuviota, joka puuttui 79,5 % virheellisesti tulkituista kuvioista. KEMERA-kuviota tehdystä taimikonhoidosta puuttui 93,2 %. Myöskään Luotsi-kuviota, jotka sisälsivät tietoa saman kiertoajan puustosta, ei ollut saatavilla 61,4 % virheellisesti tulkituista kohteista.

Taulukko 9. TPI-, KEMERA- ja Luotsi-kuvioiden määrät ja prosenttiosuudet virheellisesti tulkituilla kuviolla.

	TPI-kuvio	KEMERA-kuvio	Luotsi-kuvio samalta kiertoajalta
Yhteensä, n	44	44	44
Puuttuu, n	35	41	27
Puuttuu, %	79,5	93,2	61,4

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Vertailujen tulosten tarkastelu

Tuloksien tarkastelu voidaan aloittaa tarkastelemalla toimenpidekohtaista vertailua. Täydennysistutuksen, muiden metsänhoitotoimenpiteiden ja uudistamisen etäinventoinnit eivät onnistuneet hyvin käytetyllä menetelmällä. Näiden toimenpiteiden arviointi etäinventoinnilla ei ole hyödyllistä. Näiden toimenpiteiden etäinventoinnin heikko tulos ei tullut suurena yllätyksenä, sillä niiden tarvetta ei voida luotettavasti todentaa ilman maastokäyntiä ja käyttämällä pelkkiä paikkatieto-, laserkeilausaineistoista, ilmakuvista tai muista tietolähteistä. Uudistamistarpeen arvioinnin oikeintulkitsemisprosentti jäi yllättävän matalaksi, vaikka yleensä selvästi vajaa-tuottoiset kohteet voidaan havainnoida jo etäinventointiaineistojen perusteella. Kun maastoinventoinnin tuloksia tarkastellaan tarkemmin, huomataan, että täydennysistutusta tarvitaan yleisimmin huonosti onnistuneille männyn taimikoille, mitkä on kylvetty liian rehevälle maaperälle, eli mustikkatyypille tai siitä ravinteikkaammille. Sama havainto on tehty tarkastellessa Suomen laajuisia aineistoja männyn kylvöstä (Vuorela 2013). Pelkästään tämän havainnon perusteella ei kuitenkaan pystytä perustelemaan täydennysistutusehdotusten käyttöä Kati Simasuu-menetelmällä inventoinnissa.

Etäinventoinnin toimenpide-ehdotukset kannattaa siis painottaa perkaus- ja taimikonhoitoehdotuksiin, jotka tulosten perusteella onnistuivat suhteellisen hyvin. Huomattavasti parempi tulos johtuu siitä, että näiden toimenpiteiden tarvetta ja ajankohtaa pystytään arvioimaan ja oletamaan monien käytössä olevien aineistojen kautta, mikäli inventointia suorittava henkilö osaa asiansa. Tulosten perusteella Kati Simasuu-inventoinnin maastotarkastuksia kannattaa siis kohdentaa kohteille, joiden epäillä olevan vajaatuottoisia tai muuten uudistamisen tarpeessa. Taimikonhoidon ajankohdan arvioinnin onnistuminen kahden vuoden marginaalilla

oli 70,1 %, joka on melko hyvä tulos. Närhen ym. (2008) tutkimuksessa kuusen taimikoiden taimikonhoitotarvetta arvioitiin laserkeilausaineistojen ja vanhojen metsäsuunnitelmien perusteella ja tulokseksi saatiin kahdella eri arviointimenetelmällä oikeinluokitusprosentteiksi 71,8 ja 69,2. Tulokset tutkimusten välillä ovat yllättävän samanlaiset, mutta tässä pitää ottaa huomioon, että Korhosen ym. (2013) tutkimus kattoi vain kuusen taimikoita ja käytetyt etäinventointimenetelmät ja oikeinluokitus marginaalit olivat erilaiset. VMI-metsävaratietokartan pohjalta tehdyssä taimikonhoidon kiireellisyysarvioinnissa oikeinluokitusprosentti oli 58 (Pesonen 2007), joka on heikompi verrattuna Korhosen ym. (2013) ja tähän tutkimukseen. Myös Pesosen (2007) tutkimuksessa menetelmät ja marginaalit olivat erilaiset tähän tutkimukseen verrattuna. Tässä tutkimuksessa perkauksen toimenpidekohtaisen vertailun oikeintulkitusprosentti oli 2 vuoden marginaalilla 64,6, joka on heikompi, kuin taimikonhoidon vastaava tulos. Tämä on ristiriidassa Tahvanaisen (2011) tutkimuksen tulosten kanssa, jossa nuorten taimikoiden hoitotarpeen arviointi tuotti paremman tuloksen (kappa-arvo 0,68), kuin varttuneiden taimikoiden hoitotarpeen arviointi (kappa-arvo 0,58)

Satelliittikuvien sävyarvojen avulla taimikonhoitotarpeen määrittämistä on tutkittu. Landsat TM-kuvien avulla tehdyn tulkinnan mukaan 71,2 % taimikonhoitokohteista luokitui oikein (Hyvönen 2002). Hyvösen (2002) tutkimuksessa oikeinluokituksen marginaali oli kuitenkin epätarkempi, kuin tämän tutkimuksen 2 vuoden marginaali. Melko viimeaikaisesta taimikkolaser-hankkeestakin saatiin tulos, jonka mukaan kaukokartoitusaineistolla onnistuttiin parhaimmillaan ennustamaan viiden vuoden hoitotarve oikein noin 70 prosentille taimikoista (MMM... 2012). Taimikkolaser-hankkeessa (2012) on käytetty samoja ilmakuvia ja laserkeilausaineistoja, kuin Metsään.fi-projektissa ja tässä tutkimuksessa, mikä tekee siitä melko mielenkiintoisen tutkimuksen tähän aiheeseen liittyen.

On yllättävää, että taimikonhoitotarpeen etäarvioinnissa saatu niin samankaltaisia tuloksia monessa eri tutkimuksessa käyttäen hyvin erilaisia menetelmiä, vaikka onnistuneen luokituksen tai arvion marginaalit ovatkin olleet hieman erilaiset. Perkaustarpeen kiireellisyyden arviointia etäinventointina on tutkittu vähän tai ei ollenkaan, joten vertailevia tuloksia on hankala saada. Nuoriin taimikoihin syntyvän vesakon määrän arviointia ilmakuvien sävyarvojen ja laserkeilaustiedon avulla on myös tutkittu ja todettu, että sävyarvojen ja korkeusmallin avulla tehtyjä luokituksia voisi käyttää hyödyksi järkevien toimenpide-ehdotusten laatimisessa (Korpela, ym. 2008). Yhteistä tarttumapintaa tämän tutkimuksen kanssa on tosin vain ilmakuvien käyttö, joka sekin tapahtui laskennallisesti, eikä visuaalisesti.

Kun arvioinnin onnistumisen aikamarginaalia lasketaan yhteen tai samaan vuoteen, perkauksen ja taimikonhoidon onnistumisprosentit laskevat romahdusmaisesti. Etenkin samalle vuodelle osuneiden arviointien määrä on todella vähäinen. Jos kahden vuoden marginaalia etäinventoinnin toimenpide-ehdotusten arvioinnissa ei sallita, jää oikein luokitus prosentti melko heikoksi. Kahden vuoden marginaalin säilyttäminen onnistumisen kriteerinä on järkevää, sillä taimikoiden inventointi on melko subjektiivinen prosessi ja tulokset saattavat vaihdella inventoijasta riippuen suuntaan tai toiseen. Edellämainituissa taimikonhoidon kiireellisyyden arviointia tarkastelevissa tutkimuksissa marginaalina ehdotusvuosien sijaan viisivuotiskausia tai kiireellistä hoidontarvetta. Ehdotusvuosiin perustuvat toimenpide-ehdotukset ovat melko uusi käsite metsäalalla. Tässä tutkimuksessa näitä käytettiin, koska Metsään.fi perustuu ehdotusvuosiin, eikä viiden vuoden metsätalouskausiin.

Tutkimuksen kannalta tärkeimmät tulokset ovat kuviokohtaisen vertailun oikeintulkittamisosuus, sillä se määrittää Kati Simasuu-menetelmän soveltuvuuden Metsään.fi-palvelun toimenpide-ehdotusten tuottamiseen. Vertailujen tulokset olivat positiiviset ja tuloksiksi saatiin vertailun ensimmäisen version kriteereillä 73 % oikein tulkittuja kuvioita. Vertailun toisen version kriteereillä 79,8 % kuvioista osoittautui oikein tulkituiksi. Samankaltainen tulos on saatu Nivalan (2012) tutkimuksesta, jossa taimikonhoidon kiireellisyyden arvioinnin oikeinluokittumisprosentti oli 79. Molemmissa versioissa virhemarginaali oli 2 vuotta. Eroa kahden eri kuviokohtaisen vertailun välillä on siis noin 6 prosenttiyksikköä, eli kokonaisuutena tarkasteltuna taimikonhoidon ja perkauksen tulkitseminen samana toimenpiteenä vaikuttaa hienan tuloksiin. Kuviokohtaisten vertailujen oikeintulkittamisprosentti on myös melko samaa luokkaa edellä mainittujen muiden tutkimustulosten kanssa. Onnistumisprosentti molemmilla vertailun versioilla oli korkeampi, kuin yhdelläkään yksittäisellä toimenpiteellä tarkasteltuna ja myös korkeampi, kuin suurimmassa osassa viitatuista tutkimuksista. Tämä johtuu kuviokohtaisten vertailujen kriteereistä, jotka on mainittu menetelmät-osiossa. Näiden kriteereiden täyttymiseen ei vaadita ehdotonta onnistumista jokaisen toimenpide-ehdotuksen suhteen. Nämä kriteerit määrittävät, mitkä ovat Metsään.fi-palveluun riittävän tarkat toimenpide-ehdotukset kuvioittain.

Kun laserkeilausaineiston mukaan luokittumaton- ja T2-luokka jaettiin erillisiksi ryhmiksi, saatiin selville, että T2-luokan kuvioiden arviointi onnistuu paremmin, josta onnistuneita kuvioita oli 82 ja 94 %, kun luokittumattomista kuvioista onnistui 69 ja 73,5 %. Tästä voidaan päätellä, että Simasuu-inventointia käytettäessä maastotarkastuksia kannattaa painottaa mieluummin luokittumattomille kuviolle, ainakin jos tietoa tehdyistä hoitotoista on saatavilla kat-

tavasti. T2-luokan kuvioiden etäinventointia tutkittiin myös taimikkolaser-hankkeessa (MMM... 2012), jossa pyrittiin löytämään varmasti oikein luokitettavia taimikonhoitokohteita ja karsimaan ne pois maastotarkastuksien otannasta.

Syy parempaan inventoinnin T2-luokan parempaan tulokseen lienee, että kuvioiden toimenpide-ehdotuksen inventointi saattaa olla varma jo pelkän KEMERA-kuvion tai Luotsi-kuvion, jossa on maininta tehdystä hoitotyöstä. Luokittumattomien kuvioiden ja nuorten taimikoiden inventoinnissa tällaista täysin varmaa onnistumista ei voida saada muiden tietolähteiden perusteella. Näistä esimerkkeinä ovat perustamisilmoitukset, ilmakuvat, latvusmalli ja Luotsi-tieto ilman merkintää tehdyistä toimenpiteistä.

Kuviot luokittuivat oikein melko suurella prosentilla eteenkin karummilla kasvupaikoilla ja karkeilla tai keskikarkeilla kivennäismailla. Kuivahkot ja kuivat kantaat, joiden maalajin rae-koko on karkea tai keskikarkea ovat siis kohteita, joissa toimenpide-ehdotuksen tuottaminen onnistuu varmimmiten. Tämä johtuu varmasti aluskasvillisuuden ja uudistetun puulajin kanssa kilpailevan puuston vähäisemmistä määristä, kuin rehevämällä kasvupaikoilla. Karkea maalaji ei myöskään aiheuta roustetta, joka vahingoittaisi taimien kehitystä. On selvää, ettei maastotarkastuksia kannata painottaa tämän tyyppisille kuvioille. Kainuun maaperät ovat suurelta osin karuja kasvupaikkoja, joten voidaan päätellä, että menetelmä toimii varmasti hyvin kyseisellä alueella.

4.2 Virheellisten tulkintojen tarkastelu

Vertailuissa virheellisesti tulkituista kuvioista pyrittiin etsimään yhteisiä tekijöitä maastotarkastukseen valittavien kohteiden määrittämiseksi. Ensimmäiseksi tarkasteltiin virheellisesti tulkittujen kuvioiden maalajia ja kasvupaikkatyyppiä, jotka saatiin MVt-kuvioiden tiedoista aineiston XML-tiedoston kautta. Tarkastellessa kasvupaikka- ja maalajijakaumia kokonaisuutena huomattiin, että niiden perusteella ei pystytty yleistämään mitään erityisen selvästi mitään luokkaa, jossa virheellisten tulkintojen osuus on suurempi. Jakaumat näyttivät melko samalta kuin aineiston kokonaistilannetta kuvaavat jakaumat. Virheellisesti tulkittujen kuvioiden kasvupaikkojen ja maalajien määriä verratessa suhteessa koko aineiston vastaaviin arvoihin, saadaan kuitenkin viitteitä siitä, että tuoreiden ja lehtomaisten kankaiden kohteet luokittoivat virheellisiksi suhteellisesti useammin, kuin kuivahkon ja siitä karumpien kasvupaikkojen kohteet. Sama tulos huomattiin myös turvemaiden ja hienojakoisten kivennäismaiden kohdalla. Erityisesti OMT kasvupaikan kohteiden (39 %), hienojakoisten kivennäismaiden

kohteiden (34 %) ja turvemaakohteiden (37 %) tulkittiin virheelliseksi todennäköisemmin. Nämä tulokset tulisi ottaa huomioon maastotarkastuskohteita valittaessa. Kokonaisuudessa kivennäismailla etäinventoinnin tulokset onnistuivat paremmin kuin turvemaidella. Samaan yhteenvedoon on päädytty myös Pesosen (2007) tutkimuksessa taimikonhoitotarvetta arvioidessa.

Syy ravinteikkaampien kasvupaikkojen luokituksen virheellisyyteen voi johtua monesta tekijästä. Nopeammin ja runsaampana kasvava aluskasvillisuus sekä lehtipuusto voivat vaikuttaa taimikon kehitykseen odottamattomasti. Hienojakoisilla kivennäismailla pienemmän raekoon aiheuttama heikompi veden läpäisy, rouste ja mahdolliset ravinnetalouden häiriöt voivat vaikuttaa taimikon kehitykseen ja siten arviointien virheiden syntymiseen. Hienojakoiset maalajit olivat myös suuremmalla todennäköisyydellä ravinteikkaampiin kasvupaikkoihin kuuluvia, joiden on jo todettu luokittuvan virheellisesti tulkituksi todennäköisemmin. Turvemaidella maaperän vesitalous, ravinnepitoisuuksien mahdollinen vaihtelu, ojien tukkiutuminen ja kunnostusojitusten tekemättä jättäminen tekevät taimikon kehityksen arvioinnista vaikeampaa.

”Entinen maatalousmaa”-lisämääre lisättiin maastotarkastuksen yhteydessä kuvioille, jotka olivat selkeästi metsitettyjä peltoja. Näistä kuvioista luokiteltiin virheelliseksi vertailussa 50 % ja näitä voidaan suositella potentiaalisiksi maastotarkastuskohteiksi. Vanhat maatalousmaat ovat kasvupaikaltaan vähintään OMT ja niillä tavataan yleisimmin esimerkiksi boorin puutosta. Lisämäärettä ei ole MVT-kuvioissa valmiina ja ei myöskään yleensä Luotsi-kuvioissa, mutta entiset maatalousmaat on suhteellisen helppo tunnistaa ilmakuvulta pellolta vaikuttavina peltoeksteriin kuulumattomina kuvioina. Nämä kohteille kannattaa tehdä maastotarkastuksia.

Mikäli etäinventoitavasta kuvioista ei ole saatavilla tietolähteenä taimikon perustamisilmoitus-, KEMERA-, tai Luotsi-kuvioita samalta kiertoajalta on todennäköisempää, että etäinventoinnilla tuotettu toimenpide-ehdotus on virheellinen. Tuloksissa kävi ilmi, että virheellisesti tulkituilla kuviolla yli 90 % ei ollut saatavilla KEMERA-kuviota, 80 % tpi-kuviota ja yli 60 % ajankohtaista Luotsi-kuviota. Maastotarkastusta kannattaa siis harkita, jos mitään näistä kolmesta tietolähteestä ei ole saatavilla. Nämä kolme ovat Simasuu-inventoinnin tärkeimmät tietolähteet, sillä niistä on saatavilla tarkempaa tietoa, kuin ilmakuvat, CHM ja keilaustieto. On melko loogista, että kuviot, joilla toimenpidearviot joudutaan tekemään pelkän ilmakuvan, CHM, keilaustiedon, vanhan Luotsi-tiedon ja olettamusten perusteella olivat virheellisesti tulkittuja todennäköisemmin, kuin kuviot, joissa on saatavilla tieto perustamisajankohdasta tai tehdystä taimikonhoidosta.

4.3 Pohdintaa menetelmän käytöstä, mahdollisuuksista ja tulevaisuudesta

Kati Simasuu-menetelmä on oppiva prosessi. Mikäli sitä alettaisiin käyttää muuallakin Suomessa Metsään.fi metsävaratiedon tuottamiseen, olisi varmasti mahdollista päästä vielä parempaan onnistumisprosenttiin, virhemarginaaliin ja keskineliövirheeseen toimenpidehdotusten kanssa. Maastotarkastuksia tehdessä ja inventoijan oppiessa saavutettaisiin varmasti parempia tuloksia kuin ensikertalaisena. Suuren maastotarkastusotannan jälkeen inventoija oppii varmasti, mitkä asiat vaativat korjausta omalla inventointialueellaan ja miten tietynlaiset kohteet tulee arvioida parempien tulosten saavuttamiseksi.

Tutkimuksen maastoinventointi osuus hoidettiin mahdollisimman vähän tulkinnanvaraa jättävästi Tapion hyvän metsänhoidon suositusten ja mahdollisimman suuren kustannus-hyötysuhteen arvioimisen perusteella. Silti ei ole epäilystä, että maastoinventointi on subjektiivista ja, että eri maastoinventoija olisi saattanut saada hieman erilaisia tuloksia joillekin kohteille. Voidaan kuitenkin olettaa, että samoilla taimikonhoitostrategioilla tehdyt toimisto ja maastoinventoinnit ovat vertailukelpoisia keskenään. Toimisto- ja maasto-osion inventoijilla oli myös melko samallaiset näkemykset tehokkaasta metsikön kiertoajan varhaisvaiheen metsänhoito strategiasta. Uudistunut metsälaki (2014) saattaa vaikuttaa metsäinventoijien taimikonhoitostrategioihin. Tämä pitää varmasti ottaa jatkossa huomioon Kati Simasuu-menetelmää kehittämisessä ja käyttämisessä.

Tässä tutkimuksessa etäinventoinnin apukeinona ei käytetty Pyykkösen ym. (2011 ja 2013) Simasuu-ohjeissa mainittuja apukeinoja, joita ovat: asiakastiedon selailu, metsänomistajat, vertailu naapuritilan vastaavanlaiselta kuviolta ja maastotarkastusopin hyödyntäminen. Näiden tietolähteiden hyödyntäminen oikealla tavalla monilähdeinventoinnissa voisi parantaa onnistumisen tuloksia edelleen.

Menetelmän toimivuuteen vaikuttaa oleellisesti Aarni-järjestelmästä saatavilla olevien paikkatietoaineistojen määrä ja laatu. Menetelmän onnistumisen kehittämiseksi olisi hyödyksi saada käyttöön mahdollisimman paljon aineistoja Aarni-järjestelmän kautta. KEMERA ja muiden toimenpidekuvioiden ajantasaistaminen on suuressa roolissa T2-luokkaan luokittuneiden taimikoiden etäinventoinnin onnistumisessa. Jos kaikki ilmoitukset tehdyistä taimikonhoidoista saataisiin kuviotasolle nopeasti, voitaisiin T2-luokka jättää kokonaan pois maastotarkastuksista, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Tähän voitaisiin vaikuttaa tehostamalla Metsäkeskuksen metsävaratiedon ajantasaistusprosessia.

Metsäkeskuksen jakauduttua julkisiin- ja metsäpalveluihin eli Otsoon, metsäsuunnitelmätietojen julkaiseminen Metsäkeskuksen tietokantaan loppuu. Nykyinen Luotsi-kuvioilta saatava tieto tulee vanhemaan entisestään ja vanhenee ennen pitkää niin vanhaksi, ettei siitä ole hyötyä Kati Simasuu-menetelmällä tapahtuvassa etäinventoinnissa. Tämän tapahtuessa etäinventointi painottuisi yhä enemmän muihin paikkatietoaineistoihin, ilmakuviin, CHM tulkintaan. Tässä tapauksessa tarkkojen ilmakuviin, taimikon perustamisilmoitusten, metsänkäyttöilmoitusten ja muiden paikkatietoaineistojen saaminen Aarni-järjestelmään auttaisi huomattavasti etäinventointia Kati Simasuu-menetelmällä.

Metsälain uudistuttua 2014 taimikon perustamisilmoitusten laatiminen ei ole enää pakollista metsänomistajilta. Tämä tulee varmasti vaikuttamaan menetelmän tehokkuuteen ja luotettavuuteen nuorten taimikoiden inventoinnissa tulevaisuudessa. Tällä hetkellä olemassa olevia tpi-kuvioita voidaan vielä käyttää hyödyksi inventoinneissa, mutta tulevina vuosina joudutaan turvautumaan yhä enemmän metsänkäyttöilmoituksiin, mikä johtaa todennäköisesti suurempaan epävarmuuteen tuloksissa. Myös kestävän metsätalouden rahoituslaki taimikonhoidossa on vaakalaudalla, joka saattaa vaikuttaa KEMERA-kuvioiden saatavuuteen tulevaisuudessa. Mikäli nämä 2 tietolähdettä ja myös vanhenevat Luotsi-kuviot suljetaan tulevaisuudessa pois Kati Simasuu-inventoinnin käyttöpiiristä, eikä tilalle saada uusia tehokkaita tietolähteitä, tulee menetelmän inventointitulosten laatu olemaan huonompi. Nykyisiä tietolähteitä pystytään kuitenkin hyödyntämään vielä vuosia, joten Metsään.fi-palvelun maanlaajuiseen valmistumiseen menetelmää pystytään todennäköisesti käyttämään. Uusi metsälaki tuo myös helpotusta taimikoiden inventointiin, sillä vajaan tuottoisena uudistamisen ja täydennysistutustarpeen raja on löyhempi, kuin vanhan lain suosituksen mukaan. Uuden lain mukaan taimikoille myös riittää yksi hoitokerta, eli varhaisperkaus jätettäväksi tekemättä ja taimikonhoitoa aikaistettaisiin. Nämä seikat voivat helpottaa etäinventoinnin toimenpide-ehtotusten arviointia.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuviokohtaisen vertailun tulokset ovat hyvät (73 ja 79,8 %) ja tämän tutkimuksen tulosten perusteella Simasuu-menetelmää voidaan käyttää Metsään.fi metsävaratiedon tuottamiseen Pohjois-Karjalan alueella kohdennetun maastoinventoinnin korvaajana, jos maastotarkastukset saadaan kohdennettua oikeille kuviolle. Myös tutkimuksessa käytetyt virhemarginaalit

olivat metsätaloudellisesta näkökulmasta melko pienet ja 2 vuoden virhe on melko pieni metsänhoitotoimenpide-ehdotukselle.

Tulokset olivat melko hyvät, vaikka metsäneuvoja Jouni Karppinen teki Simasuu-inventointia ensimmäistä kertaa ja mitään pohjatietoa ei ollut. Aikaisempaa kokemusta kohdennetusta maastoinventoinnista sekä tietämystä taimikoiden kehityksen dynamiikasta ja kohteiden valinnasta häneltä sen sijaan löytyi todella kattavasti. Tuloksista voidaan päätellä, että kun taustaohjeistus menetelmän käytöstä on kunnossa ja inventoinnin tekijä on kokenut metsäalan ammattilainen, voidaan jo ensimmäisellä etäinventointikerralla saavuttaa melko hyviä tuloksia. Perkauksen ja taimikonhoidon samana toimenpiteenä tulkitseminen vaikuttaa onnistumisprosenttiin ja ne voitaisiin tulkita samana toimenpiteenä, koska metsäpalveluyrittäjä tai muu toimenpiteen suorittaja määrittää maastossa, kumpi toimenpide on kustannusten puolesta. Joissain tapauksissa toimenpidemääritelmä on ristiriitainen maastossakin tehdyn ehdotuksen puolesta. Tästä esimerkkinä perkaustarpeinen taimikko, jossa kustannukset ja työn vaativuus nousevat kuitenkin lähes tai täysin taimikonhoidon tasolle. Näiden toimenpiteiden tulkitseminen samana voisi olla järkevää Metsään.fi-palvelussa, mikäli Kati Simasuu-menetelmää käytettäisiin laajemmin. Tärkeintä on aktivoida metsänomistajaa hoitotöihin.

Toimenpidekohtaisissa vertailuissa saavutettiin perkauksen ja taimikonhoidon osalta melko hyviä tuloksia. Onnistuneiden perkaus- ja taimikonhoitoehdotusten keskineliövirhe oli melko pieni. Perkauksen kohdalla virhe osoittautui hieman pienemmäksi. Muiden toimenpiteiden arviointi Kati Simasuu-menetelmällä ei onnistu niin hyvin, että se kannattaisi.

T2-luokan taimikoiden toimenpide-ehdotusten arviot onnistuivat paremmin, kuin luokittumattomien kuvioiden arviot, tämä johtuu KEMERA-kuvioista, tarkoista ilmakuvista ja joissain tapauksissa Luotsi-tiedoista. Varttuneempia taimikoita on helpompi etäinventoida tehokkaampien ja osissa tapauksista varmojen tietolähteiden ansiosta. Toimenpide-ehdotusten arviointi onnistui myös paremmin kuivilla tai kuivahkoilla kasvupaikoilla ja karkeilla tai keskikarkeilla kivennäismailla.

Tärkeimpiä yksittäisiä tietolähteitä Kati Simasuu-inventointiin ovat: saman kiertoajan Luotsi-tieto, KEMERA-kuviot ja taimikon perustamisilmoitus-kuviot. Luotsi-kuvioissa voi olla tietoa nykyisestä kiertoajasta tai suoritetuista toimenpiteistä, KEMERA-kuvioista saadaan tietoa tehdystä hoitotyöstä ja tpi-kuviosta saadaan tietoa maanmuokkaus-, uudistamistavasta ja näiden ajankohdista. Monilähdeinventointi tuottaa kuitenkin varmasti parhaan tuloksen ja etäin-

ventoinnissa kannattaa käyttää kaikkia saatavilla olevia tietolähteitä eli myös ilmakuvia, latvusmallia ja keilausdataa toimenpide-ehdotusten arvioinnin tukena. Maastotarkastuksia ei ensisijaisesti kannata tehdä kuvioille, joista on saatavilla tärkeimpiin tietolähteisiin kuuluvaa tietoa. Kohteet, joilta ei ole saatavissa edellä mainittuja tietolähteitä kannattaa tarkastaa maastossa mahdollisuuksien mukaan.

Kati Simasuu-inventoinnin metsänhoitotoimenpiteen arviointi on virheellinen todennäköisimmin ravinteikkaammilla kasvupaikoilla, erityisesti OMT-metsiköt ovat herkempiä virheelliselle tulkinnalle. Turvemaakohteilla ja hienojakoiset kivennäismaakohteilla tulkintavirheet ovat myös todennäköisempiä. Kuviotietojen perusteella tarkastuksia kannattaa siis painottaa tämän tyyppisille kohteille. Myös lisämääre: 1040, eli entinen maatalousmaa oli melko selkeä virheellisesti tulkittujen kuvioiden piirre, 50 % tällä lisämääreellä merkityistä kuvioista sisälsi virheellisiä toimenpide-ehdotuksia. Tämän perusteella metsitetyt vanhat pellot kannattaa käydä tarkastamassa maastossa. Niiden määrä on melko vähäinen ja todennäköisyys virheelliseen tulkintaan on verrattaen melko suuri.

Etäinventoinnilla tuotettu toimenpide-ehdotus on virheellinen todennäköisimmin OMT-kasvupaikalla, turvemaata tai hienojakoinen kivennäismaa maalajeilla, entisillä maatalousmailla ja kuvioilla, joista puuttuvat kaikki tärkeimmät tietolähteet. Myös kuvat, joiden tietolähde on luokittumaton, olivat todennäköisemmin virheellisesti tulkittuja, kuin T2-kehitysluokan kuvat. Maastotarkastuksia kannattaa painottaa ensisijaisesti kohteille, jotka täyttävät yhden tai useamman edellämainituista ominaisuuksista tai puutteista. Näiden kohteiden jälkeen voidaan maastotarkastuksia tehdä muillekin kuviolle resurssien ja käytettävissä olevan ajan mukaan. Maastotarkastusten tarkemmasta kohdentamisesta pitäisi tehdä erillinen tutkimus maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli löytää suuntaa-antavia tekijöitä, joiden perusteella maastotarkastuskohteita kannattaisi valita.

LÄHTEET

- Etula, H. 2010. Aarni-järjestelmä otettu käyttöön. *Metsä Pohjanmaa*. 01/2010: 6
- Hall R.J., Aldred A.H. (1992). Forest regeneration appraisal with large-scale aerial photographs. *Forestry Chronicle* 68(1): 142–150.
- Harstela, P. 2003. Taimikonhoidon vaikutus kuusen laatuun ja tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2003: 143-152.
- Heikkilä, R. 1993 Ravinnon määrän ja puulajikoostumuksen vaikutus hirven ravinnonkäyttöön ja taimituhoihin mäntytaimikoissa. *Folia forestalia* 815.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Julkaisusarja 13/2001. 95 s.
- Hyvönen, P. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten ja toimenpide-ehdotusten estimointi kälhimmän naapurin menetelmällä Landsat TM -satelliittikuvan, vanhan inventointitiedon ja kuviotason tukiaineiston avulla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 363–379.
- Hyytiäinen, O. 2011. Kohdennetun maastoinventoinnin kehittäminen. Opinnäytetyö Metsätalouden koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- Ihalainen, A., Korhonen, K.T., Viiri, H., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Mäkelä, H., Nevalainen, S. & Pitkänen, J. 2013. Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2013: 269–608.
- Korhonen, L., Pippuri, I., Packalén, P., Heikkinen, V., Maltamo, M., Heikkilä, J. 2013. Detection of the need for seedling stand tending using high-resolution remote sensing data. *Silva Fennica* vol. 47 no. 2 article id 952. 20 p.
- Korpela, I., Tuomola, T., Tokola, T. & Dahlin, B. 2008. Appraisal of seedling stand vegetation with airborne imagery and discrete-return LiDAR – an exploratory analysis. *Silva Fennica* 42(5): 753–772.
- Maltamo M., Packalén P., Kallio E., Kangas J., Uuttera J., Heikkilä J. (2011). Airborne laser scanning based stand level management inventory in Finland. *Proceedings of Silvilaser 2011*, Hobart, Australia. 10 p.
- MMM:n yhteistutkimushankkeen loppuraportti. 2012. Laser- ja ilmakuvaperusteinen taimikoiden Inventointi (taimikkolaser). Itä-Suomen yliopisto, Metsäkeskus Keski-Suomi, Tapio, Metsähallitus.
- Næsset, E., 2004. Practical large-scale forest stand inventory using a small footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19:164–179.

Nivala M. 2012. Laserkeilauksen käyttö metsänhoitotarpeen määrittämisessä taimikoissa ja nuorissa kasvatusmetsiköissä. Metsätieteen pro gradu. Itä-Suomen yliopisto. 65 s.

Närhi, M., Maltamo, M., Packalén, P., Peltola, H. & Soimasuo, J. 2008. Kuusen taimikoiden inventointi ja taimikonhoidon kiireellisyyden määrittäminen laserkeilauksen ja metsäsuunnitelmatietojen avulla. Metsätieteen aikakauskirja 1/2008: 5–15.

Pesonen, A., Korhonen, K.T., Tuominen, S., Maltamo, M. & Lukkarinen, E. 2007. Taimikonhoitotarpeen arviointi valtakunnan metsien inventoinnin metsävarakartan pohjalta. Metsätieteen aikakauskirja 2/2007: 77–86.

Pouliot D.A., King D.J., Pitt D.G. 2002. Automated assessment of hardwood and shrub competition in regenerating forests using leaf-off airborne imagery. Remote Sensing of Environment 102(3–4): s. 223–236.

Pyykkönen, J., Rautiainen, M., Väisänen, V. 2011. Kaukokartoitustietojen täydentäminen metsätiedoksi, Kati Simasuu-ohje. Suomen Metsäkeskus Julkiset palvelut 9.12.2011.

Pyykkönen, J., Rautiainen, M., Väisänen, V. 2013. Metsätiedon tuottaminen ja hallinta 2013 Kainuun alue. Suomen Metsäkeskus Julkiset palvelut 14.5.2013.

Tahvanainen K. 2011. Taimikonhoitotarpeen kartoitus laserkeilausaineiston, laserkeilausaineistosta ennustettujen puustotietojen ja taimikon perustamisilmoitusten avulla. Metsätieteen pro gradu. Itä-Suomen yliopisto. 43 s.

Tuomola, T. 2007. Numeeristen ilmakuvien käyttö havupuutaimikoiden perkaustarpeen määrittämisessä. Pro gradu tutkielma. Metsänarvioimistiede. Helsingin yliopisto. 77 s.

Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.). 2001. Onnistunut metsänuudistaminen. Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti kustannus. 217 s.

Vuorela, J. 2013. Männyn kylvöjen onnistuminen suomen metsäkeskuksen 2012 tarkastusaineiston perusteella. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Elektroniset lähteet:

ArcGIS Resource Center – ArcGIS karttatasojen tiedostotyyppien määritelmät. <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help> [Viitattu 3.11.2013].

Kuva taimikonhoidosta - <http://www.metla.fi/tapahtumat/2010/taimikonhoito/index.htm> [Viitattu 14.3.2014].

Kuva ympyräkoealasta – <http://www.metsalehti.fi/Kirjat/Uuden-metsanomistajan-kirja/> [Viitattu 14.3.2014]

Metsäkeskuksen tiedonkeruu. <http://www.metsakeskus.fi/metsatilojen-tiedot/tietojen-keruu> [Viitattu 20.1.2014].

Metsään.fi yleistä tietoa. <http://www.metsaan.fi/tietoa-palvelusta> [Viitattu 4.12.2014].

PK kasvupaikkatyypit - Pohjois-Karjalan kasvupaikkatyyppien jakaumat pinta-aloittain ja prosentuaalisesti. http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff13/ff133_liitetaulukot/lt_4.pdf [Viitattu 10.12.2013].