

Pro Gradu -tutkielma

Maankäytön muutokset luonnonsuojelualueilla ja
niiden puskurivyöhykkeillä

Aino Voutilainen



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia

10.12.2018

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ympäristötiede ja -teknologia

Voutilainen Aino: Maankäytön muutokset luonnonsuojelualueilla ja niiden
puskurivyöhykkeillä
Pro Gradu -tutkielma: 68 s., 10 liitettä (20 s.)
Työn ohjaajat: Dosentti Elisa Vallius, FT Anssi Lensu
Tarkastajat: Dosentti Elisa Vallius ja FT Pauliina Salmi
Joulukuu 2018

Hakusanat: Ihmisvaikutus, bufferit, maankäyttö, vaikutusten arviointi

TIIVISTELMÄ

Ihminen on maankäytöllään muokannut ympäristöään kautta aikain. Viimeisten vuosikymmenten aikana maankäytön vaikutukset luonnon ekosysteemeihin ovat kuitenkin voimistuneet tehden luonnonsuojelualueista tärkeän osan ekosysteemien ja niiden palvelujen turvaamista. Tässä Pro Gradu -työssä tutkittiin, miten maankäyttö on muuttunut Keski-Suomessa sijaitsevien Natura 2000 -alueiden ja luonnonsuojelualueiden ympäristössä viimeisten 5–10 vuoden aikana. Työssä selvitettiin maankäytön muutosta suojelualueille muodostetuilla puskurivyöhykkeillä lehtokohteiden ja vanhan metsän kohteiden välillä sekä voitaisiinko näitä muutoksia onnistuneesti tutkia ArcGIS v. 10.5.1 -paikkatieto-ohjelman automaattisilla luokittelumenetelmillä. Työ toteutettiin ilmakehänalyysinä. Tulokset osoittavat, että puskurivyöhykkeillä ei tapahtunut tarkastelujakson aikana merkitsevää maankäytön muutosta eikä ihmisvaikutusten havaittu selvästi lisääntyneen suojelualueiden ympäristössä. Tulokset osoittivat myös, ettei mitään tiettyä maankäyttötyyppiä ollut painottunut joko lehtokohteiden tai vanhan metsän kohteiden ympärille. Suojelualuekohtaisia muutoksia tarkasteluvuosien välillä kuitenkin tapahtui osan näistä muutoksista ollen paikallisesti merkittäviä. Saadut tulokset ovat positiivisia luonnonsuojelun toteutumisen kannalta, mutta laajempaa tutkimusta tarvittaisiin kattavamman ja paremmin yleistettävissä olevan kokonaiskuvan muodostamiseksi.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science
Department of Biological and Environmental Science
Environmental Science and Technology

Voutilainen Aino: Land use changes within nature conservation areas and their buffer areas
Master Thesis: 68 p., 10 appendices (20 p.)
Supervisors: Docent Elisa Vallius, PhD Anssi Lensu
Inspectors: Dosentti Elisa Vallius ja PhD Pauliina Salmi
December 2018

Keywords: human effect, buffer, land use, impact assessment

SUMMARY

Through history, men have transformed their surroundings with intensive land use. In recent decades, the effects of this land use have intensified and profoundly affected the ecosystems. This has made nature conservation areas a fundamental mechanism in preserving these ecosystems and ecosystem services. In this master's thesis, the land use change of Natura 2000 areas and nature conservation areas in Central Finland was studied. The time perspective studied was 5–10 years. This study concentrated on finding out the land use change within buffer areas around groves and old-growth forests. The study also concentrated on finding out if these changes could be analyzed with automatic classification methods in ArcGIS v. 10.5.1. The study was carried out as aerial photograph analysis. According to the results, no significant land use change or increased human effect occurred within the buffer areas near the conservation areas. The results also showed that no specific land use type was found to be situated either around groves or old-growth forests. Still, some land use changes happened within the buffer areas of specific conservation areas and some of these changes may have been locally significant. In the light of nature conservation, the results of this study are positive but more extensive research needs to be conducted in order to produce more comprehensive results.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	1
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	3
2.1 Tutkimuskohteet.....	3
2.2 Paikkatietoaineistot ja maankäytön luokitus	5
2.2.1 Paikkatietoaineistot.....	5
2.2.2 Maankäytön luokitus.....	5
2.3 Maankäytön luokittelu automaattisella luokittelijalla	6
2.3.1 Luokittelumenetelmät.....	6
2.3.2 Aineistojen esikäsittely	7
2.3.3 Segmentointi ja luokittelu Maximum Likelihood Classifier -luokittelijalla	8
2.3.4 Luokittelu Random Trees -luokittelijalla	15
2.3.5 Automaattisen luokittelun tulokset.....	18
2.4 Maankäytön luokittelu käsin.....	20
2.5 Maankäytössä tapahtuneiden muutosten selvittäminen	20
2.5.1 Maankäyttöluokkien pinta-alojen ja muutosten laskeminen	20
2.5.2 Tilastollinen testaus	21
2.5.3 Karttojen visualisointi ja maakuntakaavamerkintäkohtainen tarkastelu	22
3 TULOKSET	23
3.1 Muutokset lehto- ja vanhan metsän kohteiden välillä	23
3.2 Ihmistoiminnan vaikutus maankäyttöön	27
3.3 Muutokset vanhan metsän kohteissa.....	29
3.3.1 Ihmistoiminnan vaikutus maankäyttöön vanhan metsän kohteissa .	29
3.3.2 Sallaajärven aarnialue.....	30
3.3.3 Syväojanmäen suojelualue	33
3.3.4 Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualue.....	35
3.4 Muutokset lehtokohteissa	38
3.4.1 Ihmistoiminnan vaikutus maankäyttöön lehtokohteissa	38

3.4.2 Sarvivuoren lehdon suojelualue	39
3.4.3 Punavuoren lehdon suojelualue	41
3.4.4 Innanlahden lehdon suojelualue.....	43
4 TULOSTEN TARKASTELU	47
4.1 Automaattinen luokittelu	47
4.2 Maankäytön muutokset lehto- ja vanhan metsän kohteiden välillä	51
4.3 Maankäytön muutokset maakuntakaavamerkintöjen näkökulmasta	53
4.4 Puskurivyöhykkeiden käyttö ja merkitys	57
4.5 Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys	60
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	62
Kiitokset	63
KIRJALLISUUS.....	63
LIITE 1. Suojelualueiden kohdekuvaukset	70
LIITE 2.Maankäyttöluokkien kuvaukset.....	72
LIITE 3. Jyväskylän kaupungilta saatujen ilmakeu-aineistojen esikäsittely automaattista luokittelua varten ArcGIS-ohjelmassa	73
LIITE 4. Maanmittauslaitoksen ilmakeu-aineistojen esikäsittely automaattista luokittelua varten ArcGIS-ohjelmassa	74
LIITE 5. GLCM-tekstuuripiirteiden laskenta R:ssä.....	75
LIITE 6. Daubechies'n aallokkeiden laskenta R:ssä.....	76
LIITE 7. Segmentointi- ja luokittelukokeilut lisäpiirre-arvotasojen ja pääkomponenttianalyysin kanssa.....	79
LIITE 8. Luokittelun virhematriisin tulokset ArcGIS:ssä.....	82
LIITE 9. Syväojanmäen suojelualueen maankäyttöluokkien pinta-alat ja niiden muutosarvot	83
LIITE 10. Tilastollisten testien tulokset	86

1 JOHDANTO

Ihmiset ovat muuttaneet maapallon ekosysteemejä viimeisen 50 vuoden aikana nopeammin ja voimakkaammin kuin aiemmin (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Käytännössä kaikki maailman ekosysteemit ovat muuttuneet ihmistoiminnan seurauksena, mutta suurin muutos on tapahtunut terrestrisessä ympäristössä (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Monessa maassa metsäekosysteemien pinta-ala on vähentynyt ja boreaalisista metsistäkin arviolta kaksi kolmasosaa on ihmisvaikutuksen alaisena (Gauthier ym. 2015, Millennium Ecosystem Assessment 2005). Suomessa metsien nettokasvu on ollut positiivista (Korhonen ym. 2017), mutta täälläkin metsiin kohdistuu yhä enemmän paineita puuraaka-aineen tuottamiseksi niin perinteisiin kuin uusiin puun käyttökohteisiin sekä energiaksi (Helmisaari ym. 2014, Koljonen ym. 2017).

Maankäytön intensiteetin lisääntyessä ja alkuperäisten ympäristöjen pirstaloituessa pieniksi saarekkeiksi luonnonsuojelualueverkon merkitys kasvaa (Kallio 2001). Luonnonsuojelualueet mahdollistavat biodiversiteetin ja ekosysteemipalveluiden säilymisen, mikä ylläpitää ympäristön resilienssiä erilaisille muutostekijöille kuten ilmastonmuutokselle. Luonnonsuojelualueet ovat kuitenkin Pohjois-Euroopassa usein pinta-alaltaan pieniä sekä maantieteellisesti epätasaisesti jakautuneita (Kuuluvainen 2009). Suomessa ja Ruotsissa luonnonsuojelualueet sijaitsevat useimmiten pohjoisen matalatuottoisilla metsäalueilla, joissa biodiversiteetti on luonnollisesti vähäisempää verrattuna maiden eteläisempiin, korkean tuotannon metsäalueisiin (Kuuluvainen 2009). Verrattain nuoretkin luonnonsuojelualueet ovat ihmisvaikutuksen alaisina etenkin maiden eteläisimmissä osissa (Lilja & Kuuluvainen 2005, Kuuluvainen 2009).

Painetta luonnonsuojelualueille aiheuttaa usein niitä ympäröivä maankäyttö. Kaavoituksella on tärkeä asema luonnonsuojelun kannalta, sillä sen avulla voidaan suojella uusia alueita sekä ohjata maankäyttöä jo olemassa olevien luonnonsuojelualueiden tai ekologisesti arvokkaiden luontokohteiden ympärillä.

Suomessa luonnonsuojelu lainsäädännöllä tai kaavoituksella käsittää vain itse suojelualueen, mutta maakunta- ja yleiskaavoissa otetaan yleensä kantaa niin suojelualueiden kuin niiden ulkopuolistenkin alueiden maankäyttöön (Metsähallitus 2014). Luonnonsuojelualueiden suojelun ja niihin kohdistuvan reunavaikutuksen kannalta maankäyttöä olisi ensiarvoisen tärkeää ohjata myös luonnonsuojelualueiden ympäristössä (Hansen & DeFries 2007).

Tässä Pro Gradu työssä tutkittiin, miten maankäyttö on muuttunut Keski-Suomessa sijaitsevien Natura 2000- ja luonnonsuojelualueiden ympäristössä viimeisten 5–10 vuoden aikana. Pää tavoitteena oli selvittää, miten maankäyttö oli muuttunut suojelualueiden ympärille muodostetuilla puskurivyöhykkeillä ja oliko näillä vyöhykkeillä tapahtuneissa muutoksissa yhdenmukaisuutta lehto- ja vanhan metsän kohteiden välillä. Puskurivyöhykkeellä tarkoitetaan tässä työssä suojelualueen ympärille muodostettua tarkastelualueita erottaen sen suojavavyöhykkeestä (buffer zone), jolla tarkoitetaan virallisesti rajattua aluetta, jonka toimintaa on rajoitettu suojelualueen arvojen suojelemiseksi. Työssä pyrittiin myös selvittämään, selittivätkö Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan kaavamerkinnot maankäytössä havaittua muutosta. Tästä johtuen tarkastelu tehtiin vuosien 2007–2016 välillä. Lisäksi työssä pyrittiin selvittämään, soveltuisivatko ArcGIS v. 10.5.1 (ESRI, Redlands, CA, USA) -paikkatieto-ohjelman automaattiset luokittelumenetelmät ilmakeu-aineistojen analysointiin ja voitaisiinko näillä menetelmillä saavuttaa vähintään 70–80 % luokittelutarkkuus, johon monissa muissa tutkimuksissa oli päästy (Dingle Robertson & King 2011, Räsänen 2014, Burai ym. 2015, Phiri & Morgenroth 2017).

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

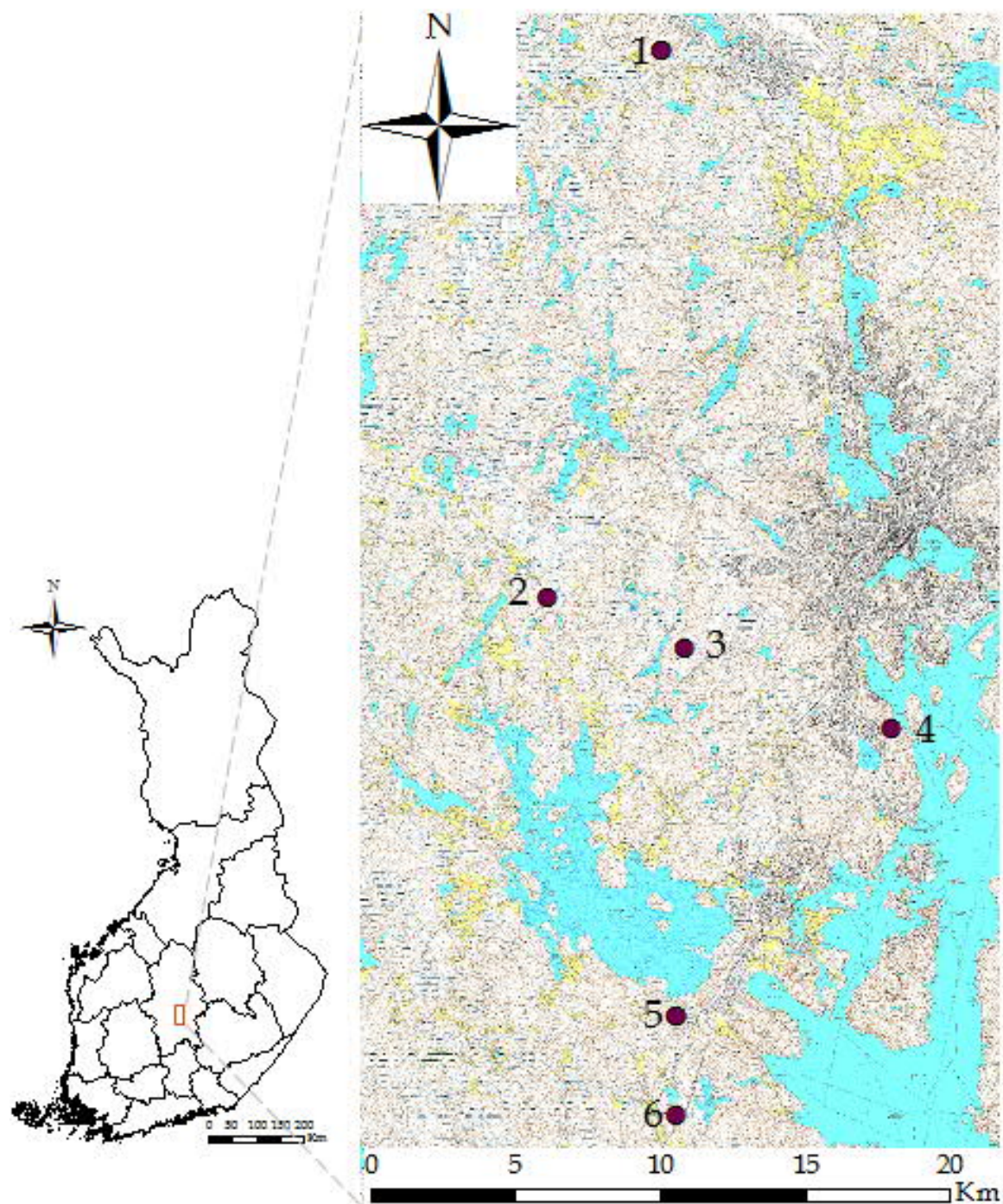
2.1 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteiksi valittiin vanhaa metsää sekä lehtoa edustavia Natura 2000 -alueita ja luonnonsuojelualueita Keski-Suomen maakunnasta. Tutkimuskohteita valittiin yhteensä kuusi kappaletta, joista kumpaakin suojelutyyppiä valittiin edustamaan kolme kohdetta. Tällöin maankäytössä tapahtuneita muutoksia voitaisiin vertailla näiden suojelutyyppien välillä. Tutkimuskohteiksi vanhaa metsää edustavista suojelualueista valittiin Syväojanmäen luonnonsuojelualue, Sallaajärven aarnialue ja Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren luonnonsuojelualue sekä lehtoja edustavista suojelualueista Innalan lehto, Sarvivuoren lehto sekä Punavuoren lehto. Kohteista Innanlahden lehto sekä Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuori sijaitsevat Muuramessa ja muut kohteet Jyväskylässä (kuva 1). Liitteessä 1 on esitetty kohdekuvaukset.

Tutkimuskohteiden valintaan käytettiin AVAA Paituli -paikkatietopalvelua, Jyväskylän kaupungin karttapalvelua sekä Keski-Suomen maakuntakaavojen yhdistelmää. Maakuntakaavojen yhdistelmä oli saatavilla Maanmittauslaitoksen ylläpitämässä Paikkatietoikkuna-karttapalvelussa. Paikkatietopalvelun avulla etsittiin Keski-Suomen alueelta aluevarauksina tai pistemäisinä kohteina merkittyjä suojelualueita, joiden lähietäisyydellä olisi useampia kaavamerkintöjä. Paituli-paikkatietopalvelun sekä Jyväskylän kaupungin karttapalvelun avulla puolestaan valittiin suojelualueista sopivat kohteet sen mukaan, oliko näistä kohteista saatavilla ilmakuvat halutuilta vuosilta.

Tähän työhön tutkimuskohteiksi sopivien luonnonsuojelualueiden valintaa rajoitti ilmakehän aineistojen heikko saatavuus, sillä ilmakehän aineistoa tuli saada tietystä kohteesta sekä vuosilta 2009–2010 että vuosilta 2015–2016. Maanmittauslaitokselta oli saatavilla ilmaiseksi tuoreimmat ilmakuvat, mutta vuoden 2009–2010 ilmakehän aineistoa oli pyydyttävä kunnilta, joista Jyväskylällä oli saatavilla kattavimmin ilmakehän aineistoja kyseisiltä vuosilta. Muista poiketen Kuusmäki-Tikkamäki-

Kirkkokangas-Valkeavuori-luonnonsuojelualueen aiempaa tarkastelujaksoa edustavat ilmakuvat ovat vuodelta 2007.



Kuva 1. Tutkimuskohteiden sijainnit. 1 = Syväojanmäen suojelualue, 2 = Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualue, 3 = Sallaajärven aarnialue, 4 = Sarvivuoren lehto, 5 = Innanlahden lehto ja 6 = Punavuoren lehto. Hallintorajat, peruskartta © Maanmittauslaitos 2017.

2.2 Paikkatietoaineistot ja maankäytön luokitus

2.2.1 Paikkatietoaineistot

Aineistona käytettiin ortoilmakuvia vuosilta 2009–2010 sekä ortoilmakuvia ja ortoinfrakuvia vuosilta 2015–2016. Kuusimäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuori -luonnonsuojelualueen kuvat ovat puolestaan vuodelta 2007. Ortoilmakuvat Jyväskylän kaupungin alueelta vuosilta 2009–2010 saatiin Jyväskylän kaupungin kiinteistönmuodostus ja maastomittaus –osastolta. Jyväskylän kaupungin teettämien ortoilmakuvien resoluutio oli 0,10 m × 0,10 m ja ne olivat koordinaatistossa ETRS 1989 GK26 FIN (ilman y-koordinaatin kaistatunnusta 26 000 000). Vuosien 2015–2016 ortoilmakuvat ja ortoinfrakuvat olivat Maanmittauslaitoksen tuottamia ja ne ladattiin Paituli-latauspalvelusta. Kaikkien Maanmittauslaitoksen ottamien ilmakuvien resoluutio oli 0,5 m × 0,5 m ja ne olivat koordinaatistossa EUREF FIN TM35FIN.

Aineistona käytettiin myös paikkatietopohjaisia luonnonsuojelualueerajauksia sekä maakuntakaavamerkintöjä, jotka saatiin Keski-Suomen maakuntaliitolta. Maakuntakaavamerkinnät käsittivät vuoden 2009 yhdistetyn maakuntakaavan merkinnät ja ne olivat koordinaatistossa EUREF FIN TM35FIN.

2.2.2 Maankäytön luokitus

Jotta ilmakuviin voitiin tunnistaa eri maankäyttöluokat, kehitettiin ensin luokittelumenetelmä. Luokittelumenetelmän laatimisessa käytettiin apuna Suomen ympäristökeskuksen tuottamaa Corine Land Cover 2012 –aineistoa (2014) sekä Maanmittauslaitoksen tuottamaa maastotietokantaa (2016). Työssä käytettiin 14 eri maankäyttöluokkaa (taulukko 1), joiden tarkemmat kuvaukset on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 1. Tarkastelukohteiden ilmakuvien luokittelussa käytetty maankäytön luokitus. Luokittelu on laadittu Keski-Suomalaisen metsämaan kuvailuun soveltuvaksi, mutta kuitenkin yleispiirteisemmäksi kuin esimerkiksi Corine Land Cover 2012 –aineisto. Väri-sarake esittää luokittelun karttavisualisoinnissa käytetyn maankäyttöluokan värin.

Numero	Väri	Maankäyttöluokka
1	Vaalean sininen	Vesialueet
2	Punainen	Tiet
3	Tumman punainen	Rakennukset
4	Turkoosi	Suot
5	Keltainen	Peltomaat
6	Ruskea	Hakkuuaukeat
7	Tumman vihreä	Taimikot ja pensastot
8	Vihreä	Luonnontilaiset / vähän hoidetut metsät
9	Tumman sininen	Voimakkaasti hoidetut metsät
10	Violetti	Piha-alueet
11	Vaalean ruskea	Joutomaat
12	Oranssi	Ulkoilureitit
13	Harmaa	Kalliot ja kivennäismaat
14	Tumman ruskea	Kaatunutta metsää

2.3 Maankäytön luokittelu automaattisella luokittelijalla

2.3.1 Luokittelumenetelmät

Maankäyttömuotoja voidaan luokitella automaattisesti ilmakehän ja kaukokartoitusaineistoista pikseleiden luokitteluun perustuvilla analyyseillä tai segmentoinnin avulla muodostettujen objektien luokitteluun perustuvilla analyyseillä. Tässä työssä hyödynnettiin OBIA-analyysiä (Object-Based Image

Analysis) eli objektiperusteista kuva-analyysiä. Sen sijaan että luokiteltaisiin pikseleitä, OBIA:ssa pikselit yhdistetään segmentoinnin avulla objekteiksi ja näille objekteille tehdään edelleen luokittelu (Blaschke 2010, Räsänen 2014) automaattisia luokittelijoita hyödyntäen. Verrattuna pikseleiden luokitteluun perustuviin analyysihin, OBIA:n etuna on sen kyky luoda yhteneväisempiä alueita ja siten realistisempia kuvauksia maanpeitteestä erityisesti käytettäessä aineistoa, jossa on korkea resoluutio (pikselikoko < 5 m) (Räsänen 2014). OBIA:n heikkouksiin kuuluu muun muassa sen taipumus yhdistää pienet, harvinaiset luokat osaksi isompia objekteja, mutta siitäkin huolimatta OBIA:n on useissa tutkimuksissa todettu tuottavan parempia luokittelutuloksia kuin pikseleihin perustuvan luokittelun (Dingle Robertson & King 2011, Whiteside ym. 2011).

Tässä työssä pyrittiin kehittämään käsin tehtävän ilmakehän luokittelun korvaamiseksi automaattinen luokittelumenetelmä, jolla voitaisiin nopeuttaa ja helpottaa ilmakehän analysoinnin tekemistä mahdollistaen näin myös suuremman kohdemäärän tutkimisen. Vaikka automaattiset segmentointi- ja luokittelumenetelmät eivät ole täysin virheettömiä, on niiden todettu toimivan hyvänä työkaluna maankäytön luokittelussa tuottaen tarkkuudeltaan varsin kohtuullisia tuloksia (Robertson & Chan 2009). Tässä työssä automaattisen luokittelun tekemiseksi käytettiin ArcGIS v. 10.5.1 –paikkatieto-ohjelmaa sekä R 3.5.1 (R Core Team 2018) –tilasto-ohjelmaa.

2.3.2 Aineistojen esikäsittely

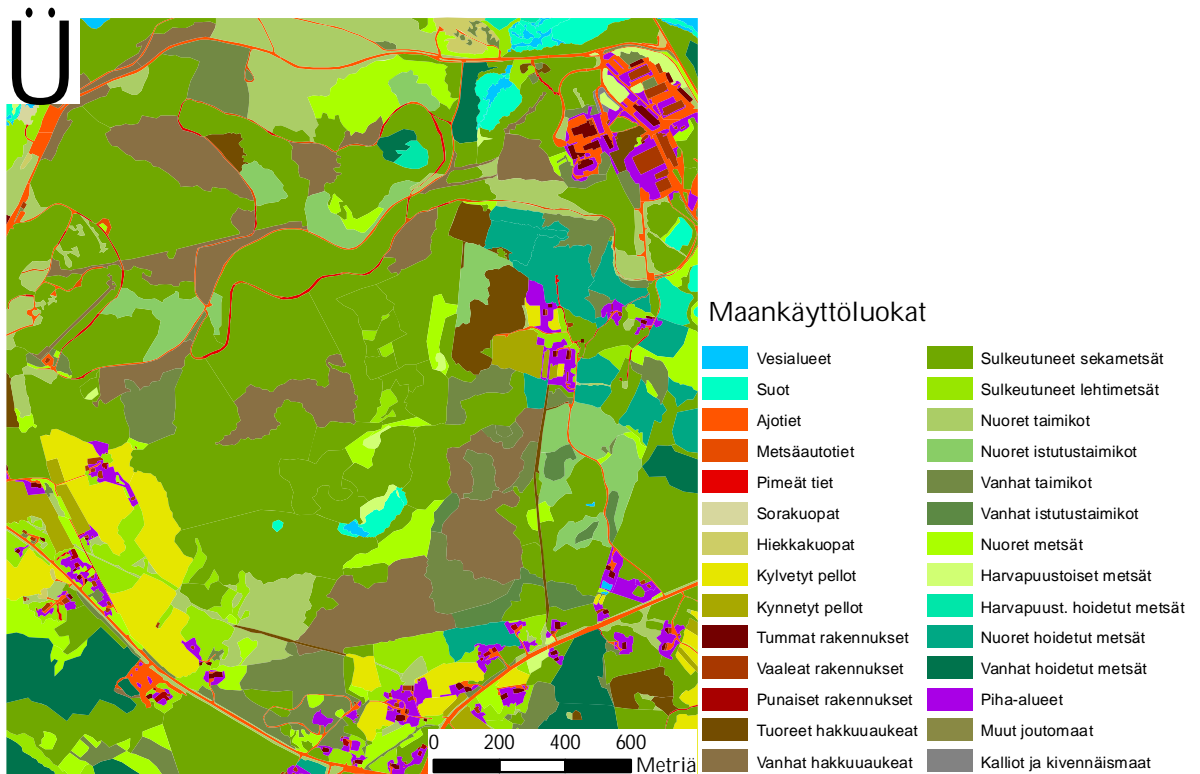
Koska eri kohteista saatujen ilmakehän aineistojen resoluutio vaihteli eri lähteiden välillä ja kun aineisto oli hyvin pienipiirteistä, muutettiin resoluutio kaikkien aineistojen välillä yhteneväksi liitteissä 3 ja 4 kuvatuilla menetelmillä. Jyväskylän kaupungilta saaduista ilmakehän kuvista puuttui paikkatieto, minkä vuoksi niille tuli ensin määritellä karttaprojektio. Jyväskylän kaupungin ilmakehät olivat karttakoordinaatistossa ETRS 1989 GK26 FIN (ilman y-koordinaatin kaistatunnusta 26 000 000). Jotta Jyväskylän ilmakehät saatiin yhdenmukaisiksi Maanmittauslaitoksen EUREF FIN TM35FIN koordinaatistossa olevien aineistojen kanssa, luotiin oma korjattu koordinaattijärjestelmä kopiona ETRS 1989 GK26 FIN

-järjestelmästä, jossa False Easting –arvoksi määriteltiin 500 000 eikä ArcGIS-ohjelman mukainen 26 500 000. Tätä koordinaattijärjestelmää käytettiin kaikille Jyväskylän kaupungin ilmakuville (Liite 3). Maanmittauslaitoksen aineistolle ei tarvinnut tehdä projektiomuunnosta. Sen sijaan kyseisen aineiston ortoilmakuvat yhdistettiin ortoinfrakuvien kanssa yhdeksi tasoksi siten, että ortoinfrakuvista otettiin uudelle karttatasolle neljäs kaista, lähi-infrapunakaista (Liite 4). Lisäksi suojelualueet valittiin maakuntaliitolta saaduista Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan luonnonsuojelualue-rajauksen aineistosta omiksi tasoikseen ja niille luotiin 100, 300 ja 500 metrin tarkasteluvyöhykkeet eli bufferit ArcGIS Toolbox –työkalupaketin Multiple Ring Buffer –toiminnolla.

2.3.3 Segmentointi ja luokittelu Maximum Likelihood Classifier –luokittelijalla

Luokittelukokeilut automaattisilla luokittelijoilla tehtiin Syväojanmäen suojelualueen vuoden 2016 ilmakuvalla ja sen käsin luokitellulla referenssikuvalla (kuva 2). Automaattiselle luokittelijalle pyrittiin tarjoamaan luokittelun tekemiseksi mahdollisimman tarkka referenssiaineisto, jossa maankäyttöluokkia olisi riittävästi, jotta ne olisi ilmakuvasta helpompi erottaa toisistaan. Näin ollen taulukossa 2 esitetyille automaattisessa luokittelussa käytettyjen maankäyttöluokkien pääluokille luotiin alaluokkia tarpeen mukaan (kuva 2).

Ennen automaattisen luokittelun tekemistä yhdistetty ja oikeaan koordinaatistoon asetettu ilmakuvatasegmentoitiin, sillä useat tutkimukset ovat osoittaneet, että segmentoinnilla voidaan tuottaa parempia luokittelutuloksia (Gao ym. 2011, Ke ym. 2010). Segmentoinnilla ilmakuva-aineistosta erotellaan ja ryhmitellään segmenttejä, joiden sisällä pikselit ovat toistensa kanssa hyvin samankaltaisia ja joilla on samanlaiset spektriset ominaisuudet (ArcGIS 10.5.1 Help 2017). Segmentointi tekee näin ollen kuvan yleistämistä ja tavoitteena on muodostaa piirteiltään mahdollisimman homogeenisia alueita. Segmentointitarkkuutta säädettiin Spectral Detail, Spatial Detail ja Minimum Segment Size –parametrien avulla.



Kuva 2. Käsin luokiteltu referenssikuva Syväojanmäen suojelualueesta. Luokitteluun on tässä käytetty taulukon 1 maankäyttöluokitusta tarkempaa luokitusta mahdollisimman hyvän aineiston tuottamiseksi automaattiselle luokittelijalle.

Räsänen ym. (2013) totesivat, että hyvässä segmentoinnissa tulisi olla (1) merkityksellisiä, muttei liian kompleksisia segmenttejä ja (2) segmenttien rajojen tulisi olla yhteneviä referenssiaineiston polygonirajausten kanssa sekä edelliset kohdat huomioiden, (3) segmentoinnin tulisi olla mahdollisimman karkeapiirteinen. Nämä kohdat pyrittiin ottamaan huomioon segmentoinnin hyvyyttä arvioitaessa. Paras segmentointitulokseksi valittiin visuaalisen arvioinnin perusteella, mikä myös Räsänen (2014) havaintojen mukaan oli yhteydessä parempaan luokittelutulokseen.

Taulukko 2. Maankäyttöluokkien pääluokat Syväoanmäen suojelualan automaattiselle luokittelulle.

Luokka (ID)	Maankäyttöluokka
1	Vesialueet
2	Suot
3	Tiet
4	Taimikot ja pensastot
5	Joutomaat
6	Pellot
7	Luonnontilaiset / vähän hoidetut nuoret metsät
8	Rakennukset
9	Hakkuuaukeat
10	Luonnontilaiset / vähän hoidetut sulkeutuneet metsät
11	Luonnontilaiset / vähän hoidetut harvapuustoiset metsät
12	Voimakkaasti hoidetut harvapuustoiset metsät
13	Voimakkaasti hoidetut nuoret metsät
14	Voimakkaasti hoidetut varttuneet metsät
15	Piha-alueet
16	Kalliot ja kivennäismaat

Segmentointiin ja luokitteluun käytettiin ilmakuvien taajuuskaistoja, joita oli vuoden 2009–2010 ilmakuvissa kolme kappaletta (Red, Green, Blue) ja vuoden 2015–2016 ilmakuvissa neljä kappaletta (RGB + Near Infra-Red, NIR). Ensin segmentointia ja luokittelua testattiin pelkillä ilmakuvien taajuuskaistoilla taulukoissa 3 ja 4 esitetyillä parametreilla Random Trees ja Support Vector Machine (SVM) luokittelijoilla, joista SVM perustuu lineaariseen päätöspintaan (decision surface) ja tarvittaessa epälineaaristen lisäpiirrearvojen käyttöön. Nämä

ominaisuudet mahdollistavat luokittelijan korkean yleistämiskyvyn (Cortes & Vapnik 1995). Sen etuna on, että sillä voi käsitellä erittäin suuria segmentoituja kuvia kuten korkean resoluution ilmakuvia. SVM ei myöskään ole herkkä kohinalle, korreloituneille taajuuskaistoille eikä sille, että luokittelijan opetusaineistojen määrä vaihtelee eri luokissa (ArcGIS Desktop 2018b).

Taulukko 3. Segmentointikokeilu Syväojanmäki-aineistolla RGB + IR -kaistoilla.

Segmen- toinnin parametrit	Segmentointikokeilu							
	Segm1	Segm2	Segm3	Segm4	Segm5	Segm6	Segm7	Segm8
Spectral detail	10	15	13,5	15	14	14	14	14
Spatial detail	15	15	15	15	15	10	15	13
Minimum segment size	100	100	100	225	100	100	130	120

Koska edellä kokeillut menetelmät eivät tuottaneet toivottua luokittelutulosta, siirryttiin kokeilemaan Maximum Likelihood Classifier –luokittelijaa (MLC). MLC laskee jokaiselle luokiteltavana olevalle rasterisolulle tai segmentille arvon, kuinka todennäköisesti kyseinen kohde kuuluu kaikkiin luokkiin, minkä jälkeen MLC valitsee niistä todennäköisyyksistä suurimman ja luokittelee kohteen kyseiseen luokkaan.

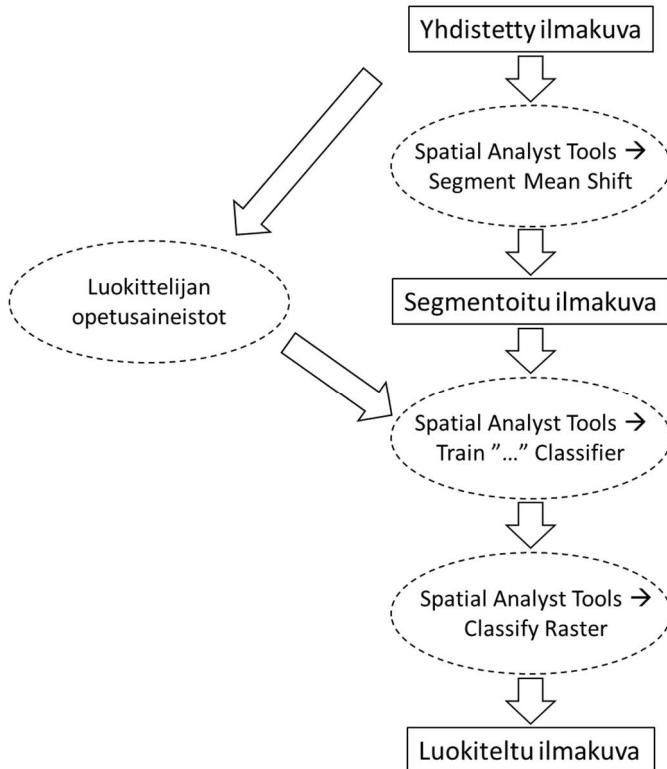
Taulukko 4. Automaattisen luokittelumenetelmän kokeilu Syväoanmäki-aineistolla RGB + IR -kaistoilla (SVM = Support Vector Machine).

Luokittelu- kokeilu	Luokittelukokeilun taustatiedot		
	Segmentointiaineisto	Luokittelija	Maximum number of samples per class
1	Segm2	Random Trees	0
2	Segm3	Random Trees	0
3	Segm3	SVM	100
4	Segm3	SVM	0

Luokittelijan vaihtamisen lisäksi todettiin, että luokittelutarkkuutta voitaisiin parantaa, mikäli luokittelijalle annettaisiin enemmän aineistoa kuvaavia piirretasoja. Niinpä leikatuille sekä oikeaan koordinaatistoon ja haluttuun resoluutioon (2 m × 2 m) muunnetuille ilmakuville muodostettiin niitä kuvaavia tekstuuripiirrekuvia R-tilasto-ohjelman glcm-lisäpaketin v. 1.6.1 (Zvloff 2016) glcm()-funktioilla. Tekstuuripiirrekuvien muodostamiseen käytetty komentoketju (liite 5) on alun perin Aleks Räsänen tekemä ja sittemmin Anssi Lensun, Räsänen työn ohjaajan, tätä työtä varten muokkaama.

Glcmm-funktiolla (Gray Level Co-occurrence Matrix) voidaan laskea ilmakehän aineistosta tekstuuripiirteitä, jotka erottelevat aineistossa olevia pikseleitä niiden tekstuurin perusteella. Menetelmä perustuu siihen, että glcm-funktiolla määritetään, kuinka usein aineistossa ilmenee erilaisia pikseleiden kirkkausarvojen yhdistelmiä rinnakkaisissa pikseleissä ja näistä arvoista muodostuvaa matriisia hyödyntämällä voidaan laskea aineistosta useita ominaisuuksia (Räsänen 2014). Glcmm-funktiolla lasketuista tekstuuripiirretasoista valittiin sopivimmat, aineiston piirteitä parhaiten erottelevat kuvat, jotka yhdistettiin ArcGIS-ohjelmassa Data Management Tools –työkalupaketin Composite Bands –työkalulla yhdeksi kuvaksi, jotta se voitiin määritellä luokittelun yhteydessä lisäaineistoksi (Additional raster). Näin segmentoinnissa ja luokittelussa käytettävän ilmakuvan RGB- ja NIR-

kaistojen rinnalle saatiin lisää maaston piirteitä kuvailevia kaistoja. Segmentointi ja luokittelukokeilu toteutettiin kuvan 3 mukaisesti Maximum Likelihood Classifier – luokittelijalla taulukon 5 parametreilla.



Kuva 3. Ilmakuvan segmentoinnissa ja luokittelussa käytetyt työkalut. "...\" tarkoittaa eri tilanteiden mukaan valittavissa olevaa luokittelijaa.

Luokitteluiden tekemisessä tuli vastaan ongelmia, joita ei pystytty ratkaisemaan tämän työn puitteissa. Segmentointiin vietiin alun perin kuusi kaistaa, mutta huomattiin, että ohjelma käytti kaistoista vain kolmea. Lisäksi segmentoinnin ja luokittelun tekemisessä ei voinut käyttää samoja kaistoja tai muutoin ohjelma ilmoitti virheeksi "duplicate bands". Niinpä segmentoinnissa käytettiin kolmea kaistaa ja luokittelun lisärasteriin tuotiin lisäksi 2–4 kaistaa tai tekstuuripiirrettä. Myös luokittelijan opetusaineistojen määrää pyrittiin lisäämään ja kokoa kasvattamaan mahdollisuuksien mukaan. Silti jokaisella kerralla luokittelijaa tehtäessä ohjelma antoi ilmoituksen "low sample count". Ilmoitus tuli huolimatta siitä, kuinka paljon luokittelijalle oli opetusaineistoja tehty, mikä oli huomattavissa neljännen luokittelukokeilun kohdalla (taulukko 5). Ohjelma antoi jatkaa luokittelun tekemistä ilmoituksesta huolimatta, mutta luokittelun lopputulokset olivat toistuvasti luokituneet väärin luokkiin ja ne olivat spatiaalisesti epätarkkoja.

Taulukko 5. Luokittelukokeilut Syväoanmäki-aineistolla RGB + NIR -kaistoilla sekä glcm-tekstuuriirretasoilla (MLC = Maximum Likelihood Classifier). Luokittelukokeilussa 4 oli laajempi luokittelijan opetusaineisto.

		Luokittelukokeilu			
		1	2	3	4
Aineistotasot segmentointiin	RGB tai IR	RGB	R	RG	RG
	glcm		Band2: variance, entropy	Band2: variance	Band2: variance, entropy
Segmentoinnin parametrit					
	Spectral detail	15	15	15	15
	Spatial detail	15	15	15	15
	Minimum segment size	25	25	25	25
Lisärasterin aineistot					
	RGB tai IR		RB	B	RB
	glcm	Band2: mean, variance, entropy	Band2: mean, Band3: correlation	Band2: mean, entropy, Band3: correlation	Band2: mean, Band3: correlation
Luokittelija		MLC	MLC	MLC	MLC

2.3.4 Luokittelu Random Trees –luokittelijalla

Virtanen (2018) teki LuK-työssään vertailua ilmakuviin segmentointi- ja luokittelumenetelmistä sekä niissä käytettävistä parametreista tämän työn pohjalta Syväojanmäen suojelualueen ilmakuvia hyödyntäen. Hän tuli siihen tulokseen, että aineistolle tulisi käyttää Random Trees –luokittelijaa ja että punaisen valon, vihreän valon ja lähi-infrapunataajuusalueen kaistoista tehdyn aineiston segmentoinnissa parhaiten toimivat taulukossa 6 esitetyt parametrit. Random Trees –luokittelija tunnetaan yleisemmin nimellä Random Forest (Breiman 2001) ja se on luokittelupuihin perustuva luokittelumenetelmä, jossa jokaista luokiteltua pikseliä tai segmenttiä kohden luokittelija muodostaa käyttäjän valitseman määrän, n , päätöksiä tärkeysjärjestyksessä. Tällöin luokittelija muodostuu useista eri päätöspuista (decision trees), jossa jokainen puu tulee muodostetuksi opetusaineiston pikseleiden tai segmenttien otoksista ja muuttujien osajoukoista (ArcGIS Desktop 2018c).

Taulukko 6. Infrapunakaistan sisältävän ilmakuvan segmentoinnissa käytetyt parametrit ArcGIS-ohjelmassa Virtasen (2018) työn tuloksiin perustuen.

Parametrit	Parametrien arvot
Spectral Detail	16
Spatial Detail	10
Maximum Segment Size	160

Virtasen (2018) mukaan ortokuvien taajuuskaistojen ja niille laskettujen glm-tekstuuripiirretasojen rinnalle olisi hyvä tuottaa aalloketasoja kuvailemaan paremmin aineiston piirteitä. Lisäksi ilmakeu- ja lisäpiirre-arvotasoille olisi syytä tehdä myös pääkomponenttianalyysi, jos mukaan otetut aineistotasot korreloivat keskenään. Tämä on tarpeen erityisesti silloin, jos tarkoituksena on käyttää MLC-luokittelijaa, jonka suorituskyky heikkenee korreloivien aineistotasojen vuoksi.

Daubechiesin aallokkeisiin perustuvalla tekstuurianalyysillä voidaan ilmakuvasta tuottaa spatiaalisiin taajuuksiin perustuvia vertikaalisia, horisontaalisia,

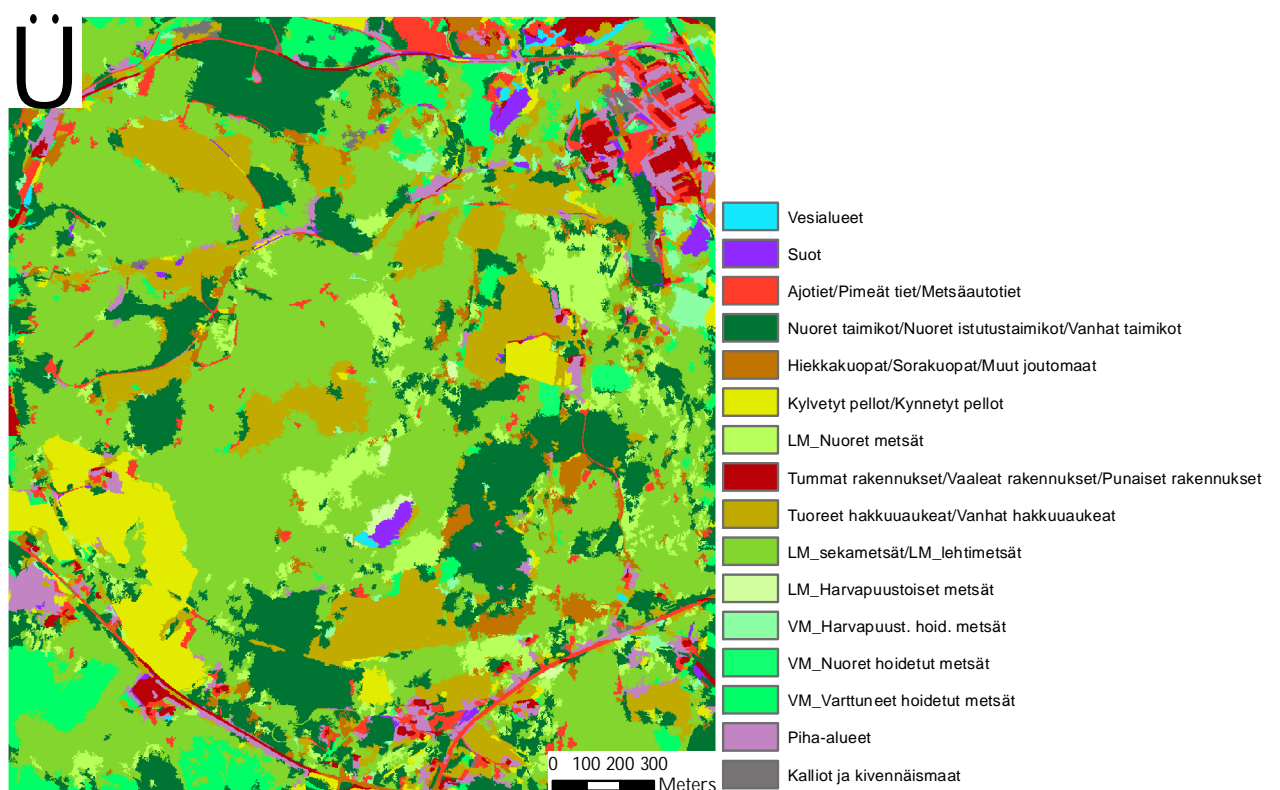
diagonaalisia ja likiarvoisia tekstuurikomponentteja, joista hienojakoisissa tekstuureissa on runsaasti korkeita spatiaalisia taajuuksia, kun taas karkeapiirteisissä tekstuureissa on runsaasti matalia spatiaalisia taajuuksia (Su ym. 2012). Niin glcm-tekstuuripiirretasojen kuin aalloketasojenkin on todettu toimivan hyvänä lisänä ilmakuviin taajuuskaistoille objekti-perusteista (OBIA) ilmakehän analyysia ja -luokittelua tehtäessä (Räsänen 2014, Su ym. 2012). Aallokekuvien muodostamiseksi taajuuskaistoille tehtiin Wavelet-muunnos waveslim-paketin version 1.7.5 (Whitcer 2015) funktioita modwt.2d() ja shift.2d() (liite 6). Myös aalloketasojen muodostamiseen käytetty komentoketju (liite 6) on Aleksi Räsänen tekemä ja sittemmin Anssi Lensun, Räsänen työn ohjaajan, tätä työtä varten muokkaama.

Pääkomponenttianalyysin tarkoituksena puolestaan on pakata ilmakehän ja lisäpiirrearvoaineistoja yhdeksi monikaistaiseksi rasteritasoksi ja poistaa korrelaatiot kaistojen väliltä (ArcGIS Desktop 2018a). Useimmiten monikaistaisen pääkomponenttirasterin kolme tai neljä ensimmäistä rasteria selittävät yli 95 % pikseleiden varianssista (ArcGIS Desktop 2018a), minkä takia tässä työssä valittiin vastaava määrä pääkomponenttianalyysin tuloksista vietäväksi luokittelu- ja joissain kokeiluissa myös segmentointityökalun lisärastereiksi (liite 7). Pääkomponenttianalyysi tehtiin Spatial Analyst Tools -työkalupaketin Principal Components -toiminnolla. Ilmakehän segmentointiin ja luokiteltiin kokeilemalla liitteessä 7 esitettyjä parametrien arvoja sekä lisäpiirrearvorastereiden erilaisia yhdistelmiä perustuen Virtasen (2018) työssä saatuihin tuloksiin.

Luokittelukokeiluista saatiin vaihtelevia tuloksia minkään yksittäisen kokeilun kuitenkaan erottumatta selvästi toistaan parempana. Silmämääräisesti parhaimman tuloksen antoi viides luokittelukokeilu (Kuva 4), jonka tarkkuutta testattiin laskemalla luokittelun virhematriisi (confusion matrix). Luokittelun virhematriisia käytetään arvioidessa luokittelumenetelmällä luokitellun aineiston tarkkuutta verrattuna maastossa todettuun tietoon (ground truth). Sillä voidaan tunnistaa, kuinka usein luokittelija luokittelee kunkin luokan virheellisesti toiseksi

ja siten edelleen osoittaa, minkä luokkien välillä malli tuottaa vääriä ja minkä luokkien kohdalla tuottaa vain oikeita tuloksia (Wiki.GIS.com 2018).

Luokittelutarkkuuden testaamiseksi ja luokittelun virhematriisiin luomiseksi luokat yhdisteltiin 16:een pääluokkaan taulukossa 2 esitetyllä tavalla, minkä jälkeen Spatial Analyst Tools -työkalupakin Create Accuracy Assessment Points ja Update Accuracy Assessment Points -työkaluilla luotiin vertailupisteet käsin luokitellun referenssikuvan ja automaattisella luokittelijalla luokitellun kuvan välille. Luokittelutavaksi valittiin Stratified Random ja pisteiden määräksi 10 000.



Kuva 4. Syväoanmäen suojelualueen viides Random Trees -luokittelijalla tehty luokittelukokeilu. Segmentointi tehtiin punaisen valon (R), vihreän valon (G) ja lähi-infrapunataajuusalueen (IR) kaistoja käyttäen, minkä jälkeen muille lisäpiirrearvotasoiille (aallokekuvat 1–6 sekä glcm-piirretasoista punaisen taajuuskaistan glcm_mean ja glcm_variance, vihreän taajuuskaistan glcm_mean sekä infrapunakaistan glcm_entropy ja glcm_second_moment) tehtiin pääkomponenttianalyysi. Kuvassa maankäyttöluokkien lisätyt alaluokat on yhdistelty taulukossa 2 kuvatuiksi pääluokiksi Spatial Analyst Tools -työkalupaketin Reclassify -toiminnolla.

2.3.5 Automaattisen luokittelukokeilun tulokset

Luokittelun virhematriisissa (liite 8) on esitetty viidennen luokittelukokeilun tulokset ja siitä nähdään, että luokittelun tarkkuuden kokonaisarvio oli 62 %. Luokittelijan luokittelukykyä arvioitaessa on tarkasteltava yksityiskohtaisemmin virhematriisin User's Accuracy ja Producer's Accuracy -arvoja, jotta nähdään, mitkä maankäyttöluokat luokittelija on osannut luokitella oikein ja minkä luokkien välillä luokittelija on tuottanut virheen. Virhematriisin sarakkeet sisältävät oikeat luokka-arvot ja rivit sisältävät luokittelun antamat tulokset. Producer's Accuracy -arvo kertoo, kuinka moni luokan edustajapisteistä on luokiteltu oikeaan luokkaan, kun taas User's Accuracy -arvo kertoo, kuinka monta muiden luokkien edustajapisteistä on luokiteltu virheellisesti kyseiseen luokkaan.

Taulukko 7. Random Trees -luokittelijalla tehdyn Syväojanmäen suojelualueen viidennen luokittelukokeilun parhaiten luokituneet maankäyttöluokat. Tiedot on poimittu liitteen 8 luokittelun virhematriisista.

	Luokittelutarkkuus	
	≥ 80 %	≥ 70 %
Producer's Accuracy	Voimakkaasti hoidetut varttuneet metsät	Luonnontilaiset / vähän hoidetut sulkeutuneet metsät
	Kalliot ja kivennäismaat	Voimakkaasti hoidetut harvapuusoiset metsät
User's Accuracy	Luonnontilaiset / vähän hoidetut sulkeutuneet metsät	Pellot
	Voimakkaasti hoidetut nuoret metsät	

Taulukossa 7 esitettyjen maankäyttöluokkien lisäksi joutomaat, pellot ja hakkuuaukeat saivat Producer's Accuracy -arvoiksi liki 70 %. Taulukosta nähdään, että parhaiten luokittuivat luonnontilaiset / vähän hoidetut sulkeutuneet metsät. Taulukosta 8 puolestaan nähdään, minkä maankäyttöluokkien luokittelu onnistui heikoiten. Kohtalaisen heikon, vain hieman yli 30 % luokittelutarkkuuden saivat Producer's Accuracy -arvon osalta lisäksi vesialueet ja luonnontilaiset / vähän hoidetut nuoret metsät sekä User's Accuracy -arvojen osalta tiet sekä voimakkaasti hoidetut harvapuustoiset metsät.

Taulukko 8. Random Trees -luokittelijalla tehdyn Syväojanmäen suojelualueen viidennen luokittelukokeilun heikoiten luokittuneet maankäyttöluokat. Tiedot on poimittu liitteen 8 luokittelun virhematriisista.

		Luokittelutarkkuus	
		≤ 30 %	≤ 20 %
Producer's Accuracy	Tiet		
	Luonnontilaiset / vähän hoidetut harvapuustoiset metsät		
User's Accuracy	Rakennukset		Joutomaat
	Voimakkaasti hoidetut varttuneet metsät		Piha-alueet
			Kalliot ja kivennäismaat

Automaattisen luokittelun menetelmäkehityksen todettiin vaativan enemmän resursseja kuin mitä tässä työssä oli käytettävissä. Automaattisen luokittelijan tulosten olisi täytynyt olla kokonaistarkkuudessa vähintään 70 – 80 %:n luokkaa, jotta luokittelu olisi ollut mielekästä ottaen huomioon myös virheellisesti luokittuneiden luokkarajausten korjaamiseen tarvittavan työmäärän. Koska tavoitetta ei edellä kuvatuilla toimenpiteillä saavutettu ja työn määrässä oli otettava huomioon myös tämän työn laajuus, päätettiin tarkasteltavien kohteiden määrää rajata ja siirtyä luokittelemaan kohteita manuaalisesti.

2.4 Maankäytön luokittelu käsin

Työ tehtiin paikkatietopohjaisena tarkasteluna, jossa verrattiin vuosina 2007–2010 otettuja ilmakuvia vuosina 2015–2016 otettuihin ilmakuviin. Aineistojen käsittelyyn käytettiin ArcGIS 10.5.1 –paikkatieto-ohjelmaa.

Käsin luokittelussa ilmakuvat esikäsiteltiin liitteiden 3 ja 4 mukaisesti kuitenkin tekemättä vuoden 2015–2016 ilmakuvatasoille Composite Bands –toimintoa NIR-kaistan yhdistämiseksi RGB-kaistoihin, sillä käsin luokittelussa pelkät ortoilmakuvat riittivät luokittelun tekemiseksi. Lisäksi kohteen pinta-alasta ja siten tiedoston suuruudesta riippuen kuvan pikselikoko joko pidettiin alkuperäisellä 0,1 m × 0,1 m tasolla tai muutettiin resoluutioon 0,5 m × 0,5 m liitteiden 3 ja 4 mukaisesti.

Maankäyttöluokkia oli eri kohteissa vaihteleva määrä, mutta kaiken kaikkiaan eri luokkia kertyi 14 kappaletta taulukon 1 mukaisesti. Tarkasteluvyöhykkeiksi valittiin 100, 300 ja 500 metrin alueet suojelualueen reunasta siten, että jokainen tarkasteluvyöhyke sisälsi vain kyseisen vyöhykkeen sisäpuolelle (alle 100 m:n etäisyydellä kohteesta, 100-300 m:n etäisyydellä ja 300-500 m:n etäisyydellä kohteesta) jäävien maankäyttöluokkien rajaukset. Tarkasteluvyöhykkeet luotiin Analysis Toolbox –työkalupaketin Multiple Ring Buffer –toiminnolla.

Maankäyttöluokkien käsin rajaaminen toteutettiin rajaamalla jokainen maankäyttömuoto omaksi aluemuotoiseksi tasokseen ilmakuvan päälle ArcGIS:n Editing-toiminnolla. Rajaukseen käytettiin Snapping-työkalun Edge- ja Vertex valintoja, jotta naapurialueiden rajat olisivat mahdollisimman usein kiinnittoisissaan.

2.5 Maankäytössä tapahtuneiden muutosten selvittäminen

2.5.1 Maankäyttöluokkien pinta-alojen ja muutosten laskeminen

Kun kaikki ilmakuvat oli luokiteltu, laskettiin kaikkien tarkasteluvyöhykkeiden sekä suojelualueiden sisältämien maankäyttöluokkien määrät Zonal Histogram

-työkalulla. Pikselikokona käytettiin 0,5 m × 0,5 m, joten kertomalla maankäyttöluokkakohtaiset pikseleiden lukumäärät luvulla 0,25 saatiin maankäyttöluokkien pinta-alat neliömetreinä. Luonnonsuojelualueiden sekä tarkasteluvyöhykkeiden pinta-alat laskettiin Calculate Geometry -toiminnolla. Liitteessä 9 on esitetty maankäyttöluokkien muutosarvojen laskentataulukko Syväojanmäen suojelualueelle ja sen ympärille muodostetuille 0-100 m, 100-300 m ja 300-500 m tarkasteluvyöhykkeille. Taulukkoon on laskettu maankäyttöluokkien pinta-alat, niiden osuudet kokonaispinta-alasta sekä muutosarvot, joita käytettiin edelleen tilastollisen testauksen suorittamiseen. Vastaavat arvot laskettiin kullekin suojelukohteelle.

2.5.2 Tilastollinen testaus

Lehtokohteiden ja vanhan metsän kohteiden sekä niiden puskuri-
vyöhykkeiden maankäyttöluokkien pinta-alaosuuksien ja muutosprosenttien eroja testattiin parametrisillä menetelmillä, koska otoskoot olivat hyvin pieniä eikä normaalijakautuneisuutta ollut syytä epäillä. Parametrisiin menetelmiin päädyttiin, sillä työn otoskoko ei olisi ollut riittävä erojen havaitsemiseen käytettäessä parametrittomia Mann-Whitney:n tai Wilcoxonin signed rank -testejä.

Kullakin tarkasteluvyöhykkeellä (100 m, 300 m ja 500 m) tapahtuneita maankäytön muutoksia tutkittiin yhden otoksen t-testillä erikseen eli kaikki lehtokohteille ja vanhan metsän kohteille. Lisäksi kahden riippumattoman otoksen t-testillä tutkittiin, onko testiryhmien välillä eroa siinä, minkä verran kutakin maankäyttöluokkaa suojelualueiden ympärillä esiintyy. Työssä käytettiin varianssikorjattua Welchin t-testiä Studentin t-testin sijaan, sillä otosten variansseja ei voitu olettaa yhtä suuriksi.

Maankäyttöluokkien muutosprosenttimuuttujien käyttäytymisen samankaltaisuutta (tai erilaisuutta) tutkimuksessa tarkastellulla aikavälillä tutkittiin edelleen laskemalla muuttujien korrelaatiokertoimet. Työssä laskettiin Pearsonin korrelaatiokertoimia, koska otoskoko oli hyvin pieni ja työssä haluttiin tutkia lineaarista riippuvuutta muuttujien välillä. Valittujen luokkien normalisuus

testattiin Shapiro-Wilk –testillä (liite 10). Vaikka hakkuuaukeat-muuttuja poikkesi 300 m puskurivyöhykkeellä normaalijakaumasta (Shapiro-Wilk –normaalisuus-testi: $W = 0,752$, $df = 6$, $p = 0,021$), päätettiin pitäytyä Pearsonin korrelaatiokertoimen käyttämisessä. Näin pienten otosten tapauksessa myös normaalijakautuneesta populaatiosta olisi voitu saada otos, jonka normaalisuustestin tulokset vastaisivat nyt saatuja.

Maankäyttöluokakohtaisen testauksen lisäksi maankäyttöluokat jaoteltiin kahteen ryhmään sen perusteella, edustaako maankäyttöluokka ihmisvaikutusta vai ei. Taulukossa 1 esitetyistä maankäyttöluokista vesialueet, luonnontilaiset / vähän hoidetut metsät, kalliot ja kivennäismaat sekä kaatunut metsä ryhmiteltiin ei-ihmisvaikutteiseen ryhmään ja muut luokat luokiteltiin ihmisvaikutteiseen ryhmään. Taimikot ja pensastot päätettiin jättää laskematta kumpaankaan ryhmään, sillä kyseisen luokan syntytapaa ei ollut tässä työssä mahdollista päätellä. Tästä syystä olisi ollut mahdotonta asettaa kyseistä luokkaa täysin joko ihmisvaikutteiseen tai ei-ihmisvaikutteiseen ryhmään. Kyseisen luokan pois jättäminen huomioitiin myös laskentaa varten käytettävässä maankäyttöluokkien kokonaispinta-alassa. Ihmisvaikutteisten ja ei-ihmisvaikutteisten maankäyttöluokkien ryhmille tehtiin sekä yhden otoksen t-testi että kahden riippumattoman otoksen t-testi. Kaikki testaukset tehtiin IBM SPSS (versio 22) –ohjelmalla.

2.5.3 Karttojen visualisointi ja maakuntakaavamerkintäkohtainen tarkastelu

Kohdekartat visualisoitiin ArcGIS-ohjelmalla siten, että Maanmittauslaitoksen vuoden 2015–2016 ilmakuvan päälle tuotiin näkyviksi tasoiksi vain ne alueet, joissa muutosta oli tapahtunut eri vuosien välillä. Muutosalueiden erottamiseksi käytettiin Geoprocessing-työkalun Union-toimintoa sekä Field Calculatoria. Muutosalueista korostettiin vielä erikseen ihmisvaikutteiset maankäyttöluokat, joiden ilmaantumisella nähtiin olevan merkitystä tarkasteltaessa luonnon-suojelualueiden ekologisia toimintoja sekä kyseisten luokkien mahdollista vaikutusta suojelun toteutumiseen.

Lopuksi kohdekarttoihin lisättiin Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan kaavamerkinnät, jotka oli ladattu Keski-Suomen maakuntaliiton verkkosivuilta. Kaavamerkintöjä käytettiin apuna tulkittaessa havaittuja maankäytön muutoksia. Tavoitteena oli silmämääräisesti tarkastella, selittävätkö kohteiden läheisyydessä olevat maakuntakaavamerkinnät maankäytössä tapahtuneita muutoksia joko suoraan tai välillisesti ja oliko vastaavaa vaikutusta nähtävissä myös muiden kohteiden läheisyydessä.

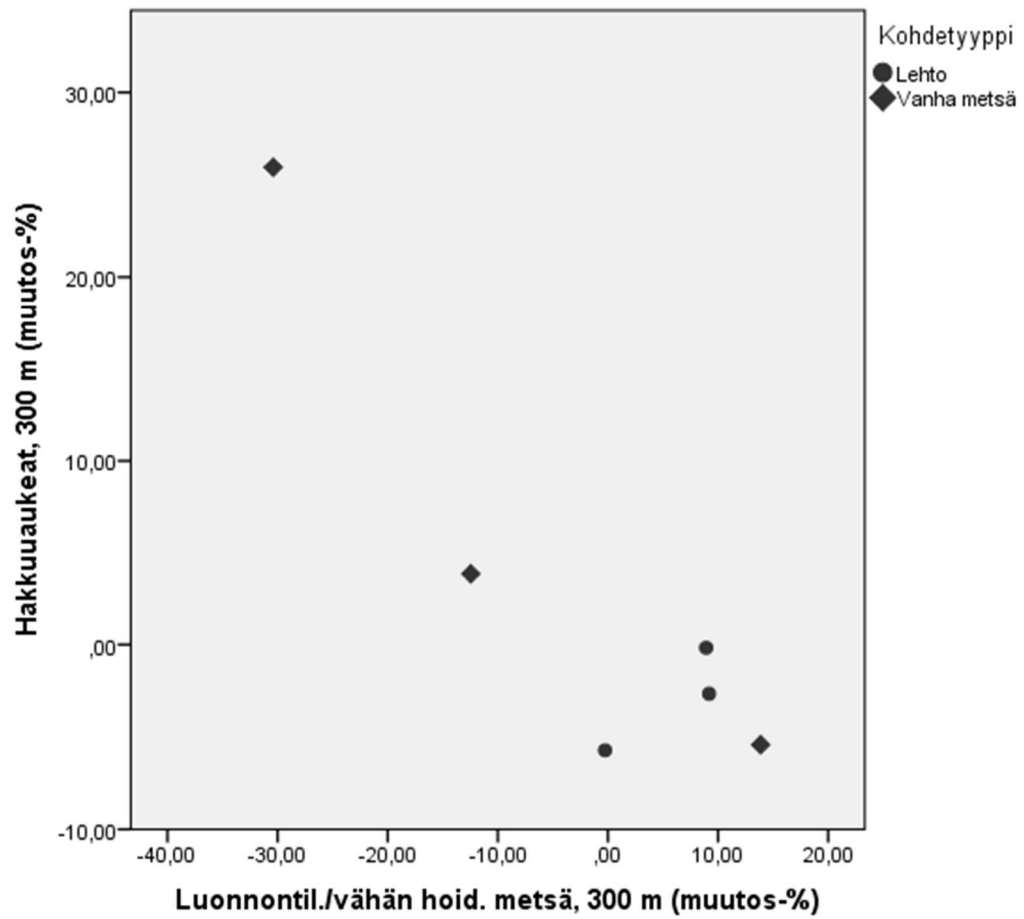
3 TULOKSET

3.1 Muutokset lehto- ja vanhan metsän kohteiden välillä

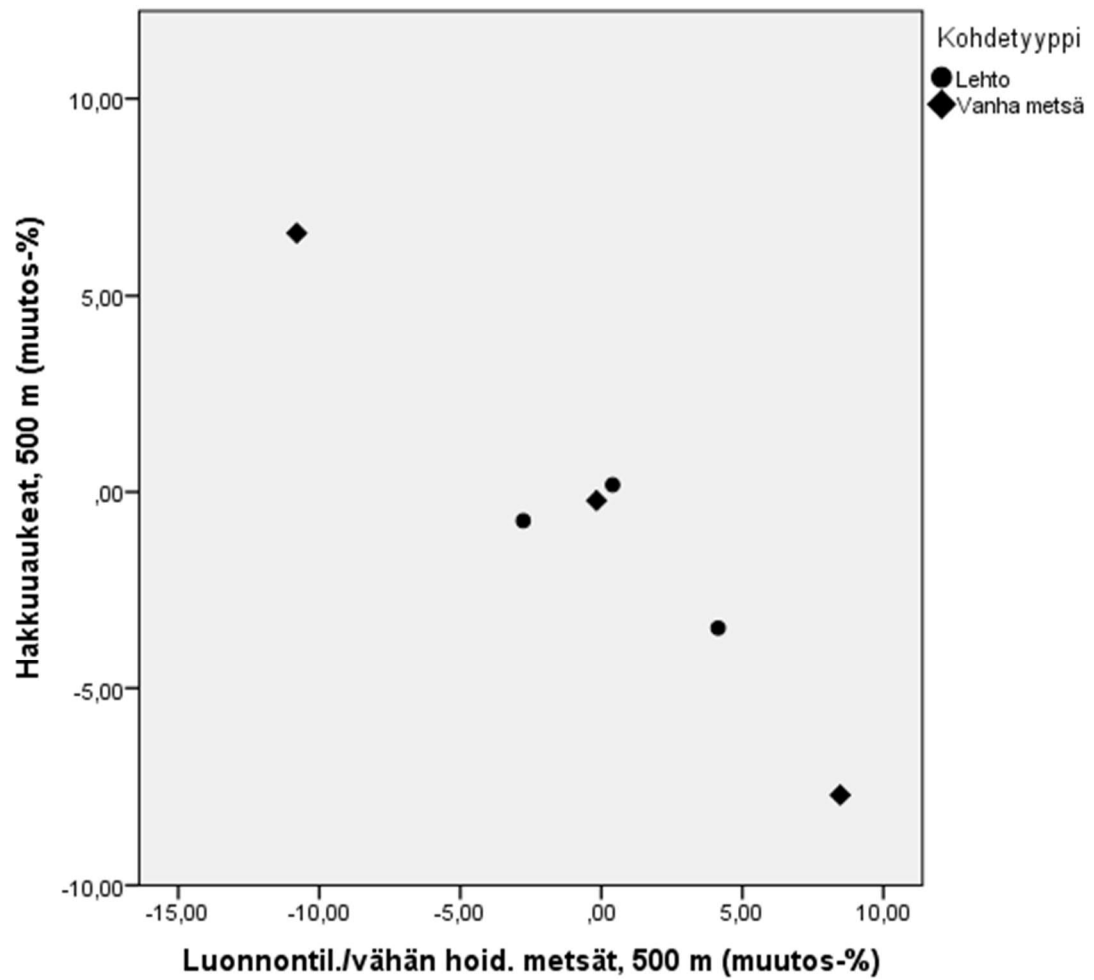
Vanhan metsän ja lehtokohteiden pinta-alaosuusien muutosarvoja tutkittaessa ei havaittu, että jollakin tietyllä puskurivyöhykkeellä olisi tapahtunut samankaltaisia maankäytön muutoksia eri tarkasteluryhmien eli vanhan metsän kohteiden ja lehtokohteiden välillä (liite 10, taulukko 1). Tuloksista ei myöskään ole nähtävissä, että testiryhmien välillä olisi eroa siinä, minkä verran kutakin maankäyttöluokkaa suojelualueiden ympärillä esiintyy (liite 10, taulukko 2). Tarkasteltaessa maankäyttöluokkien esiintyvyyttä kaikkien suojelualueiden ympärillä tarkastelujakson alkuhetkenä (vuonna 2007–2010 suojelualueesta riippuen) (kahden riippumattoman otoksen t-testi, $t = -3,341$, $df = 3,919$, $p = 0,030$) ja tarkastelujakson loppuhetkenä (vuonna 2015–2016 suojelualueesta riippuen) ($t = -4,525$, $df = 3,828$, $p = 0,012$) 500 m puskurivyöhykkeellä merkitsevä tulos saatiin ainoastaan luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien maankäyttötyypin kohdalla suojelualueityyppien välillä.

Tutkittaessa eniten maankäytön muutoksia sisältäneiden luokkien välisiä korrelaatioita kunkin puskurivyöhykkeeseen sisäisesti, havaittiin negatiivista korrelaatiota luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien ja hakkuuaukeiden välillä 300 m puskurivyöhykkeellä, luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien ja hakkuuaukeiden välillä 500 m puskurivyöhykkeellä sekä voimakkaasti hoidettujen

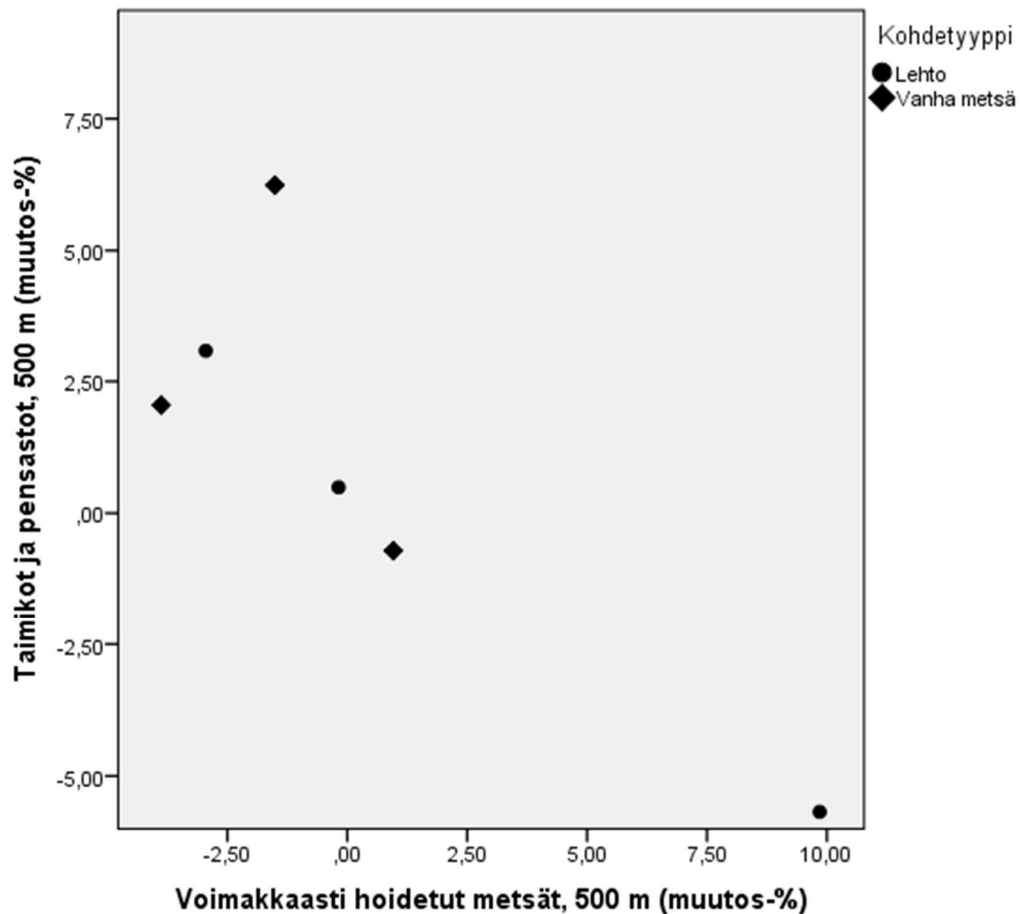
metsien ja taimikkojen ja pensastojen välillä 500 m puskurivyöhykkeellä (liite 10, taulukot 3–5). Havaituista merkitsevistä korrelaatioista laadittiin kuvaajat 5–7, joista nähdään, että luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien pinta-alaosuus on selvästi yhteydessä hakkuuaukeiden pinta-alaosuuksien muutoksiin 300 m ja 500 m puskurivyöhykkeillä. Yhteys selittyy eritoten vanhan metsän kohteissa tapahtuneilla muutoksilla. Tämä näkyy hyvin kuvassa 5, jossa vanhan metsän kohteissa havaittu luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien väheneminen selittyy suurimmaksi osin hakkuiden lisääntymisellä. Kyseisten maankäyttöluokkien vastaava negatiivinen yhteys on nähtävissä myös kuvasta 6. On kuitenkin syytä huomata, että 300 m puskurivyöhykkeen hakkuuaukeiden kohdalla Shapiro-Wilk -normaalisuustesti poikkesi normaalijakaumasta ($W = 0,752$, $df = 6$, $p = 0,021$) (liite 10, taulukko 6). Kuvasta 7 puolestaan nähdään, että taimikoiden ja pensastojen pinta-alaosuus on yhteydessä voimakkaasti hoidettujen metsien pinta-alaosuuksien muutoksiin erityisesti lehtokohteissa mutta jossain määrin myös vanhan metsän kohteissa.



Kuva 5. Muutokset hakkuuaukeiden ja luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuuksissa lehto- ja vanhan metsän kohteissa 300 m puskurivyöhykkeellä.



Kuva 6. Muutokset hakkuuaukeiden ja luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuuksissa lehto- ja vanhan metsän kohteissa 500 m puskurivyöhykkeillä.



Kuva 7. Muutokset hakkuuaukeiden ja luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuuksissa lehto- ja vanhan metsän kohteissa 500 m puskurivyöhykkeillä.

3.2 Ihmistoiminnan vaikutus maankäyttöön

Tulokset eivät osoittaneet, että ihmisvaikutteisten tai ei-ihmisvaikutteisten ryhmien välillä olisi tapahtunut samankaltaisia maankäytön muutoksia millään puskurivyöhykkeellä (taulukot 9 ja 10). Tuloksista ei myöskään ollut nähtävissä, että suojelualueyyppien välillä olisi eroa siinä, minkä verran kutakin maankäyttöluokkaa suojelualueiden ympärillä esiintyy.

Taulukko 9. Ihmisvaikutusten perusteella ryhmitellyille maankäyttöluokille tehdyn yhden otoksen t-testin testisuureet ja p-arvot. Testillä tutkittiin, onko suojelualueyryppien maankäytössä tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta eri buffereilla, $N = 6$ ja testiarvo on 0. Tähdellä (*) on merkitty tilastollisesti merkitsevät arvot.

Bufferi		t	df	p-arvo
100 m	Ihmisvaikutteinen	,196	5	,852
	Ei ihmisvaikutteinen	-,196	5	,852
300 m	Ihmisvaikutteinen	,218	5	,836
	Ei ihmisvaikutteinen	-,218	5	,836
500 m	Ihmisvaikutteinen	-,115	5	,913
	Ei ihmisvaikutteinen	,188	5	,858

Taulukko 10. Ihmisvaikutusten perusteella ryhmitellyille maankäyttöluokille tehdyn kahden riippumattoman otoksen t-testin testisuureet ja p-arvot. Testillä tutkittiin, onko testiryhmien välillä eroa siinä, minkä verran kutakin maankäyttöluokkaa suojelualueiden ympärillä esiintyy. Tarkastelussa verrattiin alkuketken ilmakuvia (vuodelta 2007–2010, suojelualueesta riippuen) loppuketken ilmakuviin (vuodelta 2015–2016, suojelualueesta riippuen), $N = 3$. Testin tuloksista tarkasteltiin Equal variances not assumed –arvoja, koska otosten variansseja ei voitu olettaa yhtä suuriksi. 300 m ei-ihmisvaikutteiselle puskurivyöhykkeelle ei voitu laskea testisuuretta ja p-arvoa, sillä kummankin ryhmän keskihajonta oli 0. Tähdellä (*) on merkitty tilastollisesti merkitsevät arvot.

Bufferi	Maankäyttö	Alkuhetki (2007–2010)			Loppuketki (2015–2016)		
		t	df	p-arvo	t	df	p-arvo
100 m	Ihmisvaikutteinen	2,646	2,859	,081	,986	2,945	,398
	Ei ihmisvaikutteinen	-2,645	2,856	,081	-,985	2,945	,398
300 m	Ihmisvaikutteinen	1,207	3,280	,307	-1,000	2,000	,423
	Ei ihmisvaikutteinen	-1,195	3,298	,311			
500 m	Ihmisvaikutteinen	1,173	3,113	,323	1,806	2,250	,198
	Ei ihmisvaikutteinen	-1,154	3,061	,330	-1,821	2,252	,196

3.3 Muutokset vanhan metsän kohteissa

3.3.1 Ihmistoiminnan vaikutus maankäyttöön vanhan metsän kohteissa

Vanhan metsän kohteissa ei ollut havaittavissa yhtenevää trendiä ihmisvaikutusten lisääntymisen tai vähenemisen suhteen (taulukko 11). Tutkimuskohteista niin Sallaajärven aarnialueen kuin Syväojanmäen suojelualan suojelualueilla sekä kaikilla puskurivyöhykkeillä ihmisvaikutuksen määrä oli lisääntynyt, mutta Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueella ihmisvaikutuksen määrä oli kaikilla puskurivyöhykkeillä vähentynyt. Eniten muutosta kaikissa kohteissa tapahtui 300 m puskurivyöhykkeellä.

Taulukko 11. Ihmisvaikutusten muutokset vanhojen metsien kohteissa ja niiden tarkasteluvyöhykkeillä kohteittain määriteltyjen tarkasteluvuosien (2007–2016) välillä.

Kohde- tyyppi	Kohde	Ryhmitellyt maankäyttö- luokat	Muutokset (%)			
			suojelu- alue	100 m	300 m	500 m
Vanhat metsät	Sallaajärven aarnialue	Ihmis- vaikutteiset	2,8	9,8	13,5	0,7
		Ei-ihmis- vaikutteiset	-2,8	-9,8	-13,5	-0,7
	Syväojanmäen suojelualue	Ihmis- vaikutteiset	1,2	8,0	33,1	8,5
		Ei-ihmis- vaikutteiset	-1,2	-8,0	-33,1	-7,3
	Kuusmäki- Tikkamäki- Kirkkokangas- Valkeavuori	Ihmis- vaikutteiset	-1,3	-6,9	-13,3	-12,0
		Ei-ihmis- vaikutteiset	1,3	6,9	13,3	12,0

3.3.2 Sallaajärven aarnialue

Luonnontilaiset / vähän hoidetut metsät ovat tulosten perusteella selkeästi vähentyneet Sallaajärven suojellun aarnialueen ympäriltä tarkastelujakson aikana (taulukko 12). Vähennemistä tapahtui erityisesti 100 m (-11,7 %) ja 300 m (-12,5 %) puskurivyöhykkeillä, mutta hieman myös suojelualueen sisällä (-2,4 %). Luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien väheneminen selittyy pääasiassa

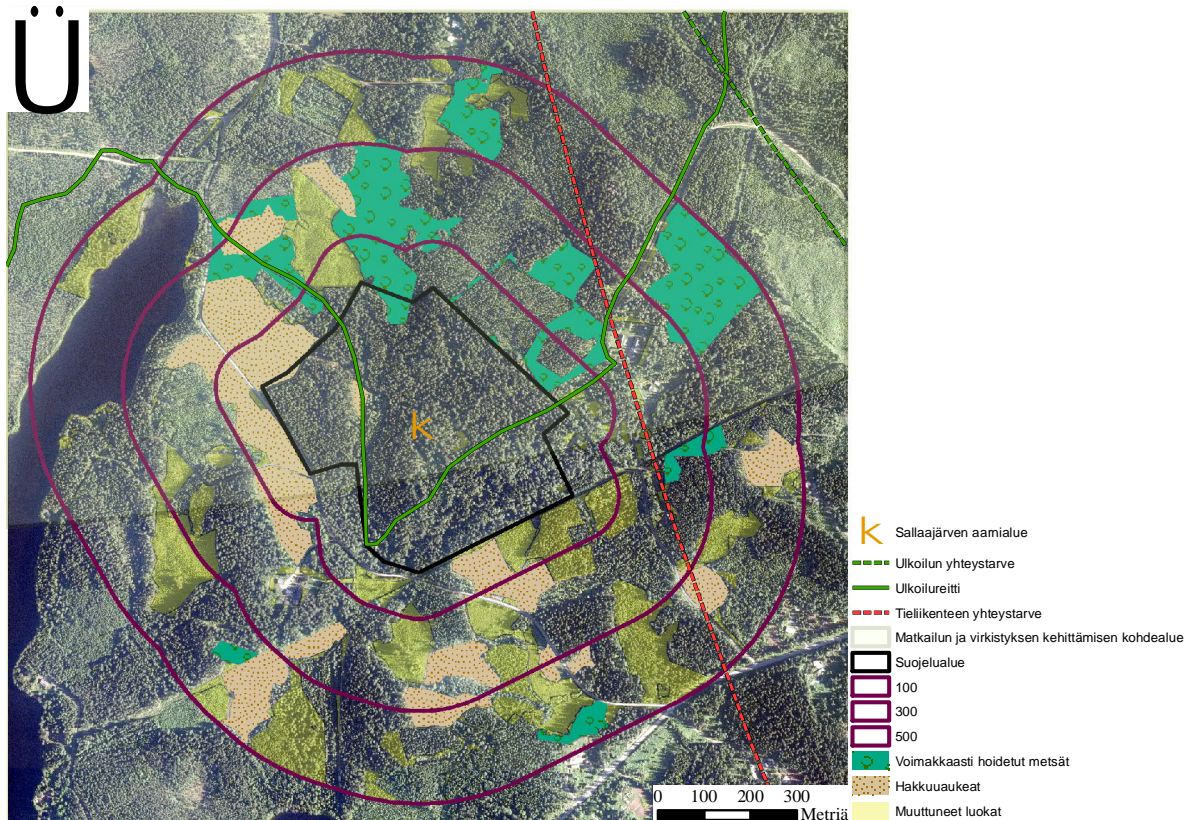
hakkuuaukeiden sekä voimakkaasti hoidettujen metsien osuuden kasvulla (taulukko 12, kuva 8).

Taulukko 12. Sallaajärven aarnialueella ja sen tarkasteluvyöhykkeillä tapahtuneet maankäytön muutokset vuosien 2009 ja 2016 välillä.

ID	Maankäyttöluokka	Muutokset (%)			
		suojelualue	100 m	300 m	500 m
1	Vesialueet	0,0	0,0	0,1	0,0
2	Tiet	0,3	0,2	0,1	0,1
3	Rakennukset	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Suot	-0,3	-0,2	-0,2	0,0
5	Peltomaat	0,0	0,0	0,0	0,0
6	Hakkuuaukeat	1,2	7,0	3,9	-0,2
7	Taimikot ja pensastot	-0,1	3,1	1,2	-0,7
8	Luonnontilaiset / vähän hoidetut	-2,4	-11,7	-12,5	-0,2
9	Voimakkaasti hoidetut metsät	1,3	1,7	8,1	1,0
10	Piha-alueet	0,0	-0,1	-0,5	0,1
11	Joutomaat	0,0	0,0	-0,1	0,0
12	Ulkoilureitit	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Kalliot ja kivennäismaat	0,0	0,0	0,0	0,0
14	Kaatunutta metsää	0,0	0,0	0,0	0,0

Hakkuuaukeiden osuus 500 m puskurivyöhykkeellä ei taulukon 12 perusteella juurikaan lisääntynyt, vaikka kuva 8 osoittaa päinvastaista. Tämä selittynee vanhojen hakkuuaukeiden taimikoitumisella, minkä vuoksi hakkuuaukeiden kokonaispinta-alassa ei ole tapahtunut merkittävää muutosta, vaikka uusia hakkuuaukeita alueelle olisikin ilmestynyt. Tästä syystä myöskään taimikkojen ja pensastojen osuus ei kasvanut 500 m puskurivyöhykkeellä (taulukko 12) vaikka

kyseisellä alueella on paljon keltaisella merkittyjä muutoskohteita matalakasvuisilla alueilla. Taimikkojen ja pensastojen osuus kasvoi lähinnä vain 100 m puskurivyöhykkeillä.



Kuva 8. Sallaajärven aarnialueen maankäytössä tapahtuneet muutokset vuosien 2009 ja 2016 välillä sekä Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan kaavamerkinnät. Kuvassa erikseen korostettuna luokat, jotka ovat muuttuneet ihmistoiminnan seurauksena. Näitä luokkia ovat voimakkaasti hoidetut metsät ja hakkuuaukeat. Keltaisella on esitetty muut muuttuneet luokat, kuten hakkuuaukeiden taimettuminen. Lisäksi violeteilla renkailla on esitetty puskurivyöhykkeet 100 m, 300 m ja 500 m etäisyyksillä luonnonsuojelualueesta. Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2016.

Niin hakkuuaukeiden kuin voimakkaasti hoidettujen metsien osuuksien kasvu kertoo ihmistoiminnan lisääntymisestä Sallaajärven aarnialueen ympäristössä niin suojelualueella kuin kaikilla puskurivyöhykkeilläkin (taulukko 11). Eniten ihmistoiminta lisääntyi 300 m (13,5 %) sekä 100 m (9,8 %) puskurivyöhykkeillä, mutta hienoista kasvua tapahtui myös luonnonsuojelualueen sisällä (2,8 %). 100 m puskurivyöhykkeillä tapahtuneet hakkuut sijoittuvat suojelualueen välittömään läheisyyteen rajautuen suojelualueeseen niin etelästä kuin länsi-luode-suunnasta

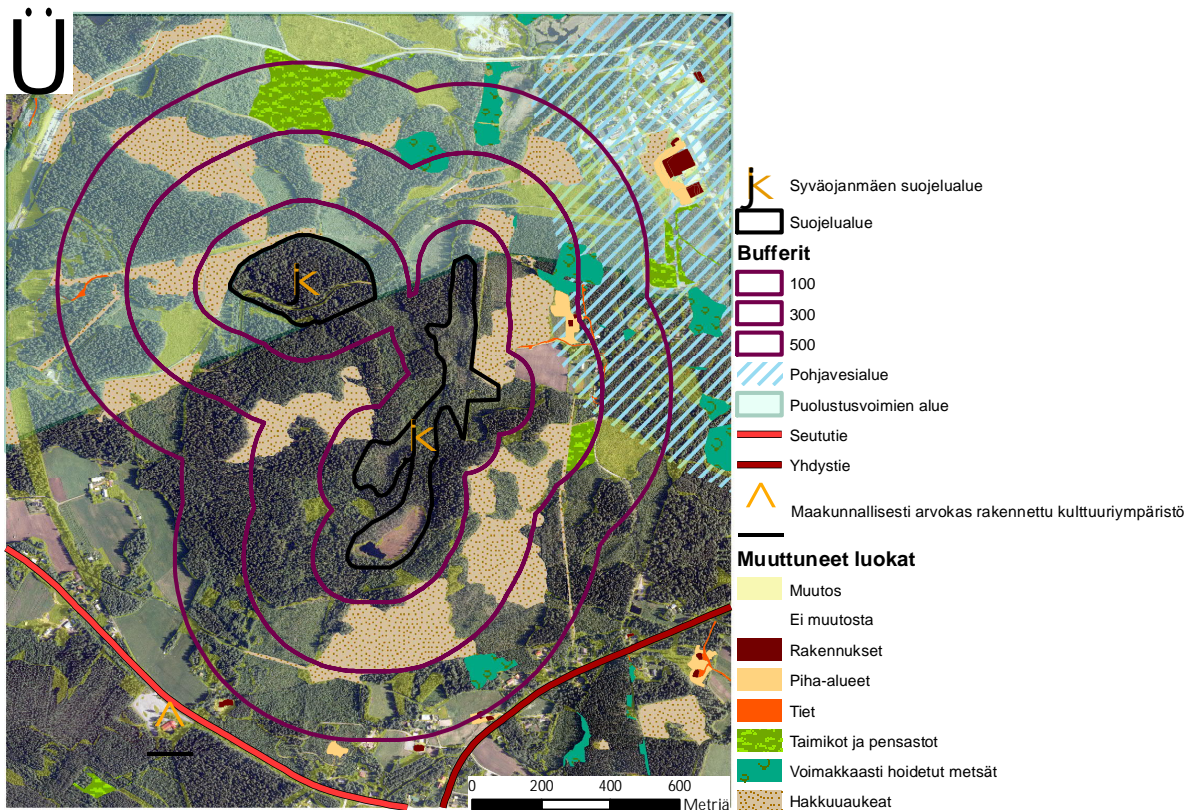
(kuva 8). Pohjoisessa voimakkaasti hoidetun metsän alue ulottuu myös suojelualueen sisälle.

3.3.3 Syväojanmäen suojelualue

Luonnontilaiset / vähän hoidetut metsät ovat tulosten perusteella vähentyneet huomattavasti myös Syväojanmäen suojelualueen ympäristössä tarkastelujakson aikana (taulukko 13). Eniten vähenemistä tapahtui 300 m puskurivyöhykkeillä, jossa jopa 30,4 % luonnontilaisista / vähän hoidetuista metsistä hävisi. Vähenemistä tapahtui selkeästi myös 500 m (-10,8 %) sekä 100 m (-4,7 %) puskurivyöhykkeillä. Luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien väheneminen selittyy pääasiassa hakkuuaukeiden lisääntymisellä (taulukko 13, kuva 9). Hakkuuaukeiden osuus kasvoi eniten 300 m puskurivyöhykkeillä (26,0 %), mikä on yhteydessä kyseisellä vyöhykkeellä tapahtuneen metsien vähenemisen kanssa. 100 m puskurivyöhykkeellä hakkuuaukeiden määrä lisääntyi 9,6 % ja kolme hakkuualueista sijoittui suojelualueiden välittömään läheisyyteen rajautuen suojelualueisiin niin idästä kuin länsi-luode-suunnastakin. Idässä hakkuualue ulottuu myös hieman suojelualueen sisäpuolelle. Ihmisvaikutuksen huomattiin lisääntyneen niin luonnonsuojelualueella kuin kaikilla puskurivyöhykkeilläkin (kuva 9, taulukko 11, taulukko 13), mutta eniten ihmisvaikutus lisääntyi 300 m puskurivyöhykkeellä (33,1 %). Osa kuvassa 9 esitetyistä muutoksista sijaitsee tarkastelualueen ulkopuolella johtuen siitä, että ilmakeinokuvitus tehtiin alun perin vastaamaan automaattisen luokittelijan tarpeita.

Taulukko 13. Syväoanmäen suojelualueella ja sen tarkasteluvyöhykkeillä tapahtuneet maankäytön muutokset vuosien 2009 ja 2016 välillä.

ID	Maankäyttöluokka	Muutokset (%)			
		suojelualue	100	300	500
1	Vesialueet	-0,1	0,0	0,0	0,0
2	Tiet	0,8	0,4	0,2	0,2
3	Rakennukset	0,0	0,0	0,1	0,1
4	Suot	-0,8	-0,2	0,0	-0,1
5	Peltomaat	0,0	0,0	-0,8	-0,4
6	Hakkuuaukeat	0,5	9,6	26,0	6,6
7	Taimikot ja pensastot	-2,0	-2,5	3,1	6,2
8	Luonnontilaiset / vähän hoidetut	1,6	-4,7	-30,4	-10,8
9	Voimakkaasti hoidetut metsät	0,0	-2,5	1,5	-1,5
10	Piha-alueet	0,0	0,0	0,4	-0,1
11	Joutomaat	-0,1	-0,0	0,0	-0,2
12	Ulkoilureitit	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Kalliot ja kivennäismaat	0,0	0,0	0,0	0,0
14	Kaatunutta metsää	0,0	0,0	0,0	0,0

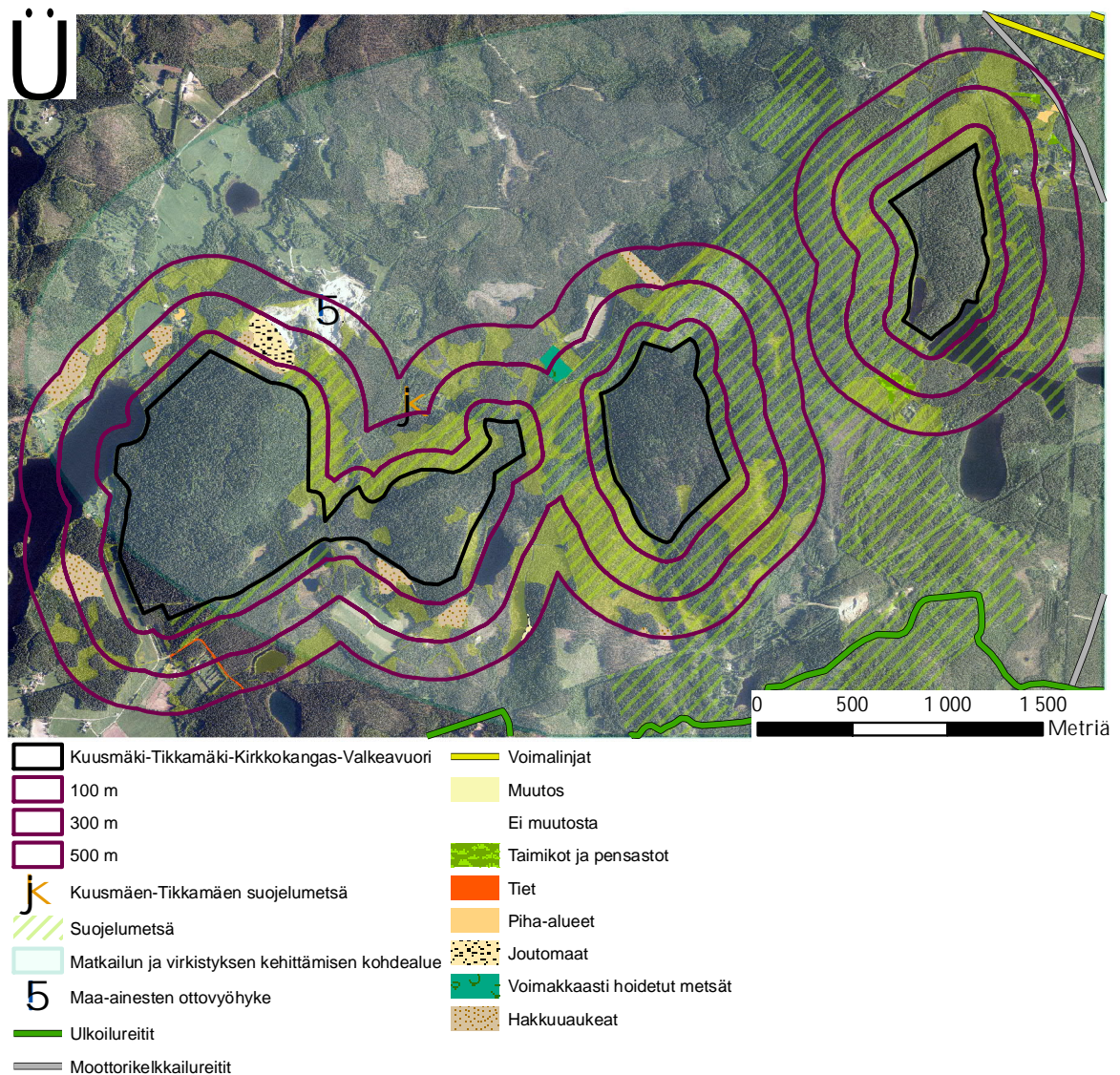


Kuva 9. Syväoanmäen suojelualueen maankäytössä tapahtuneet muutokset vuosien 2009 ja 2016 välillä sekä Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan kaavamerkinnät. Kuvassa on korostettu luokat, jotka ovat muuttuneet ihmistoiminnan seurauksena. Näitä luokkia ovat rakennukset, piha-alueet, tiet, taimikot ja pensastot, voimakkaasti hoidetut metsät sekä hakkuuaukeat. Keltaisella esitetty muut muuttuneet luokat, kuten hakkuuaukeiden taimettuminen. Lisäksi violeteilla renkailla on esitetty puskurivyöhykkeet 100 m, 300 m ja 500 m etäisyyksillä luonnonsuojelualueesta. Alue toimii Tikkakosken varalaskupaikkana (suojavyöhyke 4). Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2016.

3.3.4 Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualue

Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-valkeavuoren suojelualueella luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuudet kasvoivat samalla, kun taimikoiden ja pensastojen sekä voimakkaasti hoidettujen metsien osuudet laskivat (taulukko 14). Luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuus kasvoi suojelualueella ja kaikilla puskurivyöhykkeillä, joista eniten 100 m (11,6 %) ja 300 m (13,9 %) puskurivyöhykkeillä. Suurin osa kuvan 10 keltaisella esitetystä muuttuneista luokista käsittää luokkien muuttumisen luonnontilaisiksi / vähän hoidetuiksi metsiksi (taulukko 14). Myös hakkuuaukeiden osuudet vähenivät, joskin kuvasta 10 nähdään, että pääasiassa suojelualueen länsiosiin ilmestyi useita pienehköjä

hakkuuaukeita. Yksi hakkuuaukeista rajautuu suojelualueeseen sen eteläpuolella. Maa-ainesten ottovyöhykkeellä joutomaan osuus puolestaan kasvoi 300 m puskurivyöhykkeillä ulottuen hieman myös 100 m vyöhykkeille (kuva 10, taulukko 14).



Kuva 10. Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueen maankäytössä tapahtuneet muutokset vuosien 2007 ja 2016 välillä sekä Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan kaavamerkinnot. Kuvassa on korostettu luokat, jotka ovat muuttuneet ihmistoiminnan seurauksena. Näitä luokkia ovat taimikot ja pensastot, tiet, piha-alueet, joutomaat, voimakkaasti hoidetut metsät sekä hakkuuaukeat. Keltaisella on esitetty muut muuttuneet luokat, kuten hakkuuaukeiden taimettuminen. Lisäksi violeteilla renkailla on esitetty puskurivyöhykkeet 100 m, 300 m ja 500 m etäisyyksillä luonnonsuojelualueesta. Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2016.

Ihmisvaikutuksen osuus Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueella on vähentynyt sekä suojelualueen sisällä että jokaisella puskurivyöhykkeellä (taulukko 11). Eniten ihmisvaikutus väheni 300 m (-13,3 %) sekä 500 m (-12,0 %) puskurivyöhykkeellä.

Taulukko 14. Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkomäki-Valkeavuoren suojelualueella ja sen tarkasteluvyöhykkeillä tapahtuneet maankäytön muutokset vuosien 2007 ja 2016 välillä.

ID	Maankäyttöluokka	Muutokset (%)			
		suojelualue	100 m	300 m	500 m
1	Vesialueet	0,0	0,0	0,0	-0,4
2	Tiet	0,1	0,1	0,0	0,2
3	Rakennukset	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Suot	0,1	0,1	0,1	0,4
5	Peltomaat	0,0	0,1	-0,1	-0,2
6	Hakkuuaukeat	-0,3	-1,8	-5,4	-7,7
7	Taimikot ja pensastot	-1,9	-5,9	-3,8	2,1
8	Luonnontilaiset / vähän hoidetut	2,7	11,6	13,9	8,5
9	Voimakkaasti hoidetut metsät	-1,0	-4,5	-6,6	-3,9
10	Piha-alueet	0,0	0,0	0,0	0,1
11	Joutomaat	0,0	0,1	1,1	-0,3
12	Ulkoilureitit	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Kalliot ja kivennäismaat	0,0	0,0	0,0	0,0
14	Kaatunutta metsää	0,4	0,2	0,8	1,3

3.4 Muutokset lehtokohteissa

3.4.1 Ihmistoiminnan vaikutus maankäyttöön lehtokohteissa

Kuten vanhan metsän kohteissa ei lehtokohteissakaan ollut havaittavissa yhtenevää trendiä ihmisvaikutusten lisääntymisen tai vähenemisen suhteen (taulukko 15). Tutkimuskohteista Sarvivuoren lehdon ja Innanlahden lehdon suojelualueilla ihmisvaikutuksen määrä väheni kaikilla puskurivyöhykkeillä ja Sarvivuoren lehdossa myös suojelualueen sisällä. Punavuoren lehdon suojelualueella ihmisvaikutuksen määrä puolestaan kasvoi suojelualueella sekä 100 m ja 500 m puskurivyöhykkeillä. Sarvivuoren lehdon ja Punavuoren lehdon suojelualueilla eniten muutosta tapahtui 100 m bufferilla kun taas Innanlahden lehdon suojelualueella muutosta oli eniten 300 m bufferilla.

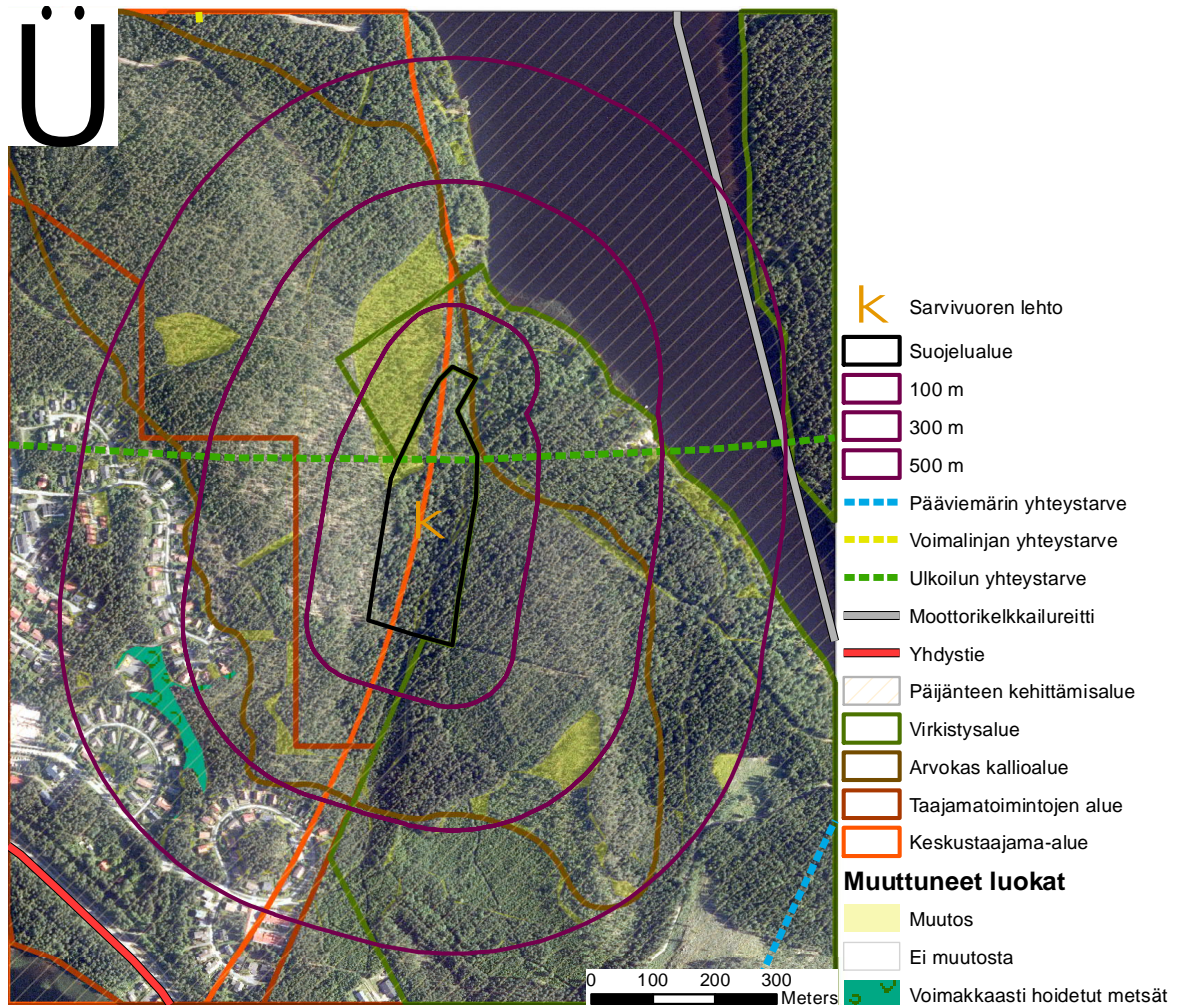
Taulukko 15. Ihmisvaikutusten muutokset lehtokohteissa ja niiden tarkasteluvyöhykkeillä kohdekohtaisten tarkasteluvuosien (2009–2016) välillä.

Kohde- tyyppi	Kohde	Ryhmitellyt maankäyttö- luokat	Muutokset (%)			
			suoja- alue	100 m	300 m	500 m
Lehdot	Sarvivuoren lehto	Ihmis- vaikutteiset	-5,3	-11,0	-4,8	-0,6
		Ei-ihmis- vaikutteiset	5,3	11,0	4,8	0,6
	Punavuoren lehto	Ihmis- vaikutteiset	7,4	11,7	-4,9	7,7
		Ei-ihmis- vaikutteiset	-7,5	-11,7	4,9	-7,6
	Innanlahden lehto	Ihmis- vaikutteiset	0,0	-6,7	-13,8	-6,4
		Ei-ihmis- vaikutteiset	0,0	6,7	13,8	6,4

3.4.2 Sarvivuoren lehdon suojelualue

Sarvivuoren lehdon suojelualueen ja sen ympäristön maankäytössä ei tapahtunut tarkasteluvuosien välillä suuria muutoksia (kuva 11). Hakkuuaukeat vähenivät suojelualueen sisällä ja kaikilla puskurivyöhykkeellä samassa suhteessa kuin taimikoiden ja pensastojen osuus kasvoi (taulukko 16). Eniten hakkuuaukeat vähenivät 100 m puskurivyöhykkeellä (-11,7 %) ja suojelualueen sisälläkin -5,0 %. Vastaavasti taimikoiden ja pensastojen osuus kasvoi eniten 100 m puskurivyöhykkeellä (11,3 %) ja suojelualueen sisällä -5,5 %. Kuvassa 11 keltaisella esitetty suurin muutosalue käsittää hakkuuaukean muuttumisen taimikoiksi ja

pensastoiksi selittäen suuren osan tuloksista (taulukko 16). Ihmisvaikutteiset maankäyttöluokat vähenivät sekä suojelualueen sisällä (-5,3 %) että kaikilla puskurivyöhykkeillä, joista eniten 100 m vyöhykkeellä (-11,0 %) (taulukko 15).



Kuva 11. Sarvivuoren lehdon suojelualueen maankäytössä tapahtuneet muutokset vuosien 2009 ja 2016 välillä sekä Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan kaavamerkinntät. Kuvassa on korostettu luokat, jotka ovat muuttuneet ihmistoiminnan seurauksena. Näitä luokkia ovat voimakkaasti hoidetut metsät. Keltaisella on esitetty muut muuttuneet luokat, kuten hakkuuaukeiden taimettuminen. Lisäksi violeteilla renkailla on esitetty puskurivyöhykkeet 100 m, 300 m ja 500 m etäisyyksillä luonnonsuojelualueesta. Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2016.

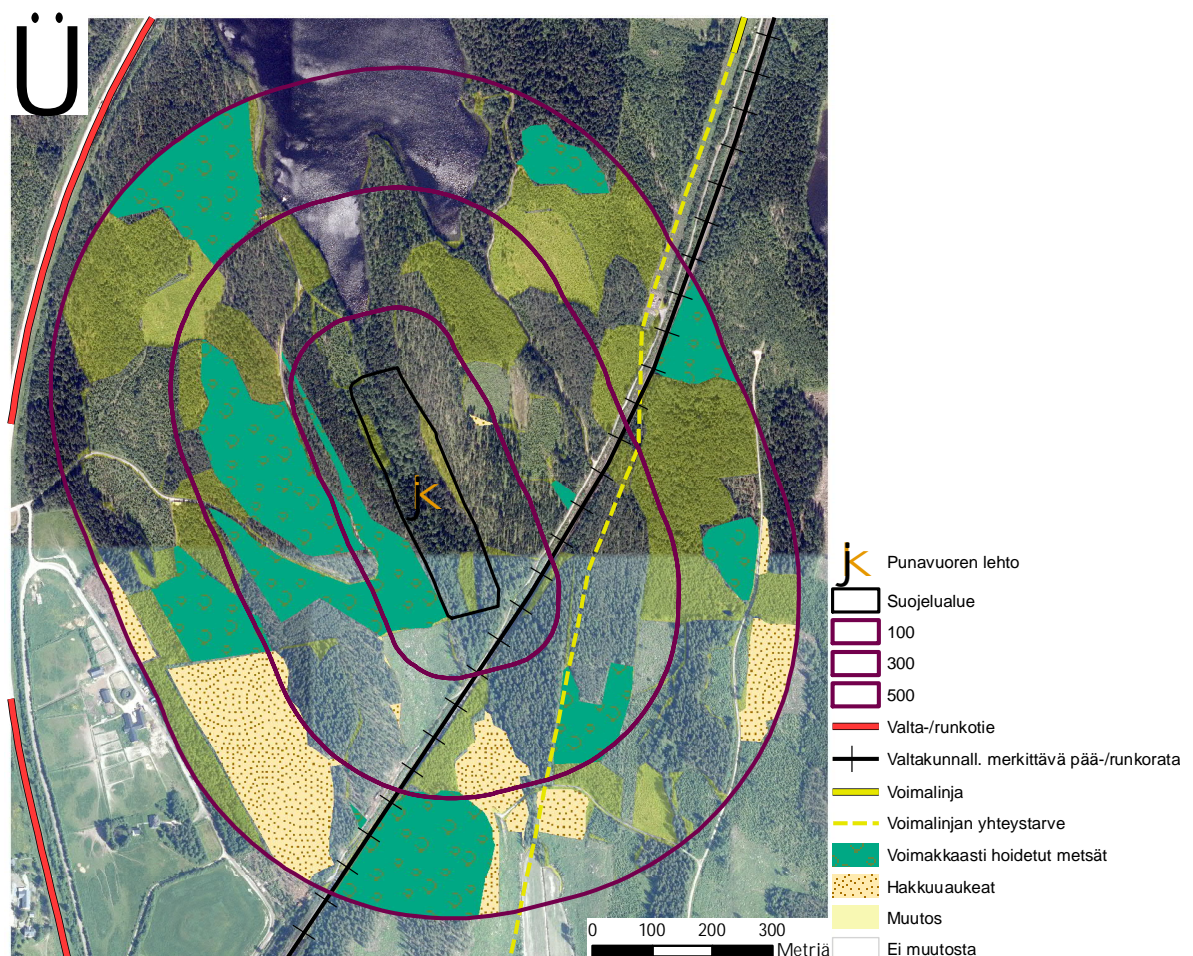
Taulukko 16. Sarvivuoren lehdon suojelualueella ja sen tarkasteluvyöhykkeillä tapahtuneet maankäytön muutokset vuosien 2009 ja 2016 välillä.

ID	Maankäyttoluokka	Muutokset (%)			
		suojelualue	100 m	300 m	500
1	Vesialueet	0,0	0,0	-0,3	-0,2
2	Tiet	-0,3	-0,2	0,0	0,0
3	Rakennukset	0,0	0,1	0,1	0,2
4	Suot	0,0	0,0	0,0	0,0
5	Peltomaat	0,0	0,0	0,0	0,0
6	Hakkuuaukeat	-5,0	-11,7	-5,7	0,2
7	Taimikot ja pensastot	5,5	11,3	6,3	0,5
8	Luonnontilaiset / vähän hoidetut	-0,1	0,4	-0,3	0,4
9	Voimakkaasti hoidetut metsät	0,0	0,0	-0,2	-0,2
10	Piha-alueet	-0,2	0,1	0,1	-0,9
11	Joutomaat	0,0	0,0	0,0	0,0
12	Ulkoilureitit	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Kalliot ja kivennäismaat	0,0	0,0	0,0	0,0
14	Kaatunutta metsää	0,0	0,0	0,0	0,0

3.4.3 Punavuoren lehdon suojelualue

Eniten Punavuoren lehdon suojelualueella ja sen ympäristössä tapahtui voimakkaasti hoidettujen metsien osuuden kasvua samalla, kun monen muun maankäyttoluokan, kuten taimikoiden ja pensastojen, osuudet vähenivät (taulukko 17). Kuvan 12 mukaan tarkastelujakson aikana hakkuuaukeita tuli lisää suojelualueen ympäristöön 300 m ja 500 m puskurivyöhykkeille (kuva 12), mutta taulukon 17 perusteella muutosta hakkuuaukeiden pinta-alojen osuuksissa ei juuri tapahtunut. Jonkin verran kasvua tapahtui luonnontilaisten / vähän hoidettujen

metsien pinta-alaosuuksissa suojelualan sisällä (2,4 %) sekä 300 m puskurivyöhykkeillä (8,9 %) selittäen osan muun muassa taimikoiden ja pensastojen osuuden vähenemisestä. Ihmisvaikutteisten maankäyttöluokkien osuus kasvoi niin suojelualan sisällä (7,4 %) kuin 100 m ja 500 m puskurivyöhykkeilläkin, joista 100 m vyöhykkeellä 11,7 % (taulukko 15). 300 m vyöhykkeellä ihmisvaikutteisten luokkien osuus sen sijaan väheni, mikä selittyy pitkälti luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuuden kasvulla (taulukko 17).



Kuva 12. Punavuoren lehdon luonnonsuojelualan maankäytössä tapahtuneet muutokset vuosien 2010 ja 2015 välillä sekä Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan kaavamerkinnot. Kuvassa on korostettu luokat, jotka ovat muuttuneet ihmistoiminnan seurauksena. Näitä luokkia ovat hakkuuaukeat ja voimakkaasti hoidetut metsät. Keltaisella on esitetty muut muuttuneet luokat, kuten hakkuuaukeiden taimettuminen. Lisäksi violeteilla renkailla on esitetty puskurivyöhykkeet 100 m, 300 m ja 500 m etäisyyksillä luonnonsuojelualueesta. Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2015.

Taulukko 17. Punavuoren lehdon suojelualueen tarkasteluvyöhykkeillä tapahtuneet maankäytön muutokset vuosien 2010 ja 2015 välillä.

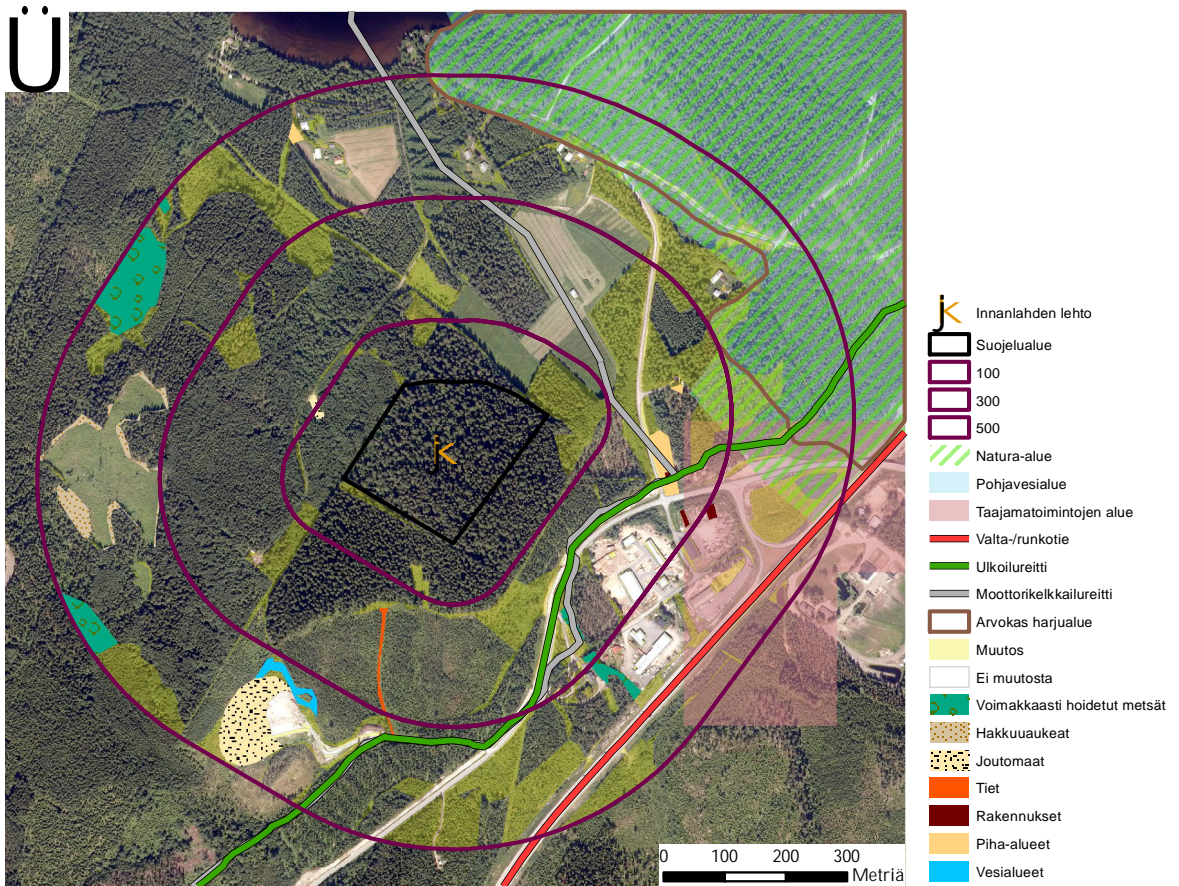
ID	Maankäyttoluokka	Muutokset (%)			
		suojelualue	100 m	300 m	500
1	Vesialueet	0,0	0,0	-0,1	-0,1
2	Tiet	0,0	-0,9	-1,0	-0,4
3	Rakennukset	0,0	0,0	0,0	-0,0
4	Suot	0,0	0,0	-0,1	-0,1
5	Peltomaat	0,0	0,0	0,0	0,0
6	Hakkuuaukeat	0,0	0,1	-0,2	-0,7
7	Taimikot ja pensastot	-10,0	-3,1	-9,9	-5,7
8	Luonnontilaiset / vähän hoidetut	2,4	-9,3	8,9	-2,8
9	Voimakkaasti hoidetut metsät	7,4	13,1	2,3	9,9
10	Piha-alueet	0,0	0,0	0,0	-0,1
11	Joutomaat	0,0	0,0	0,0	0,0
12	Ulkoilureitit	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Kalliot ja kivennäismaat	0,0	0,0	0,0	0,0
14	Kaatunutta metsää	0,0	0,0	0,0	0,0

3.4.4 Innanlahden lehdon suojelualue

Innanlahden lehdon suojelualueen tai sen ympäristön maankäytössä ei tapahtunut tarkasteluvuosien välillä suuria muutoksia (kuva 13). Eniten muutosta tapahtui luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien sekä voimakkaasti hoidettujen metsien pinta-alojen osuuksissa, mutta jonkin verran myös hakkuuaukeiden sekä taimikoiden ja pensastojen (taulukko 18). 100 m puskurivyöhykkeellä voimakkaasti hoidettujen metsien osuus väheni 7,0 % samalla, kun luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuus kasvoi 6,8 % selittäen todettua muutosta. Vastaavasti 300

m puskurivyöhykkeellä voimakkaasti hoidettujen metsien osuus väheni 10,1 % luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuuden kasvaessa 9,2 %. On kuitenkin otettava huomioon, että 300 m puskurivyöhykkeellä tapahtui myös taimikoiden ja pensastojen osuuden kasvua (5,7 %) sekä hakkuuaukeiden (-2,7 %) ja joutomaiden (-2,3 %) osuuksien vähenemistä. Vaikka taulukon 18 mukaan joutomaiden osuus väheni 300 m ja 500 m puskurivyöhykkeellä, tuli sitä kuvan 13 perusteella lisää kaikille vyöhykkeille, mutta erityisesti 500 m vyöhykkeelle. Tarkastelualueen kaakkoisosassa olevalla rakennetulla alueella tapahtuneet maankäytön muutokset, kuten joutomaan taimettuminen tai ottaminen rakennuskäyttöön, selittävät kuitenkin osan joutomaiden vähenemisestä. Tulokset ovat yhteneväisiä taulukon 15 tulosten kanssa, jonka mukaan ihmisvaikutteisten maankäyttöluokkien osuudet vähenivät suojelualueen kaikilla puskurivyöhykkeillä.

Innanlahden lehdon suojelualueen läheisyydessä on Muuramenharju – Innanlahden lehdon Natura 2000 –alue (kuva 13), jonka eteläkärkeä Innanlahden lehdon suojelualue edustaa. Innanlahden lehto on vain pieni osa isompaa Muuramenharjun suojelualueetta, mutta yhdessä ne muodostavat toisiaan tukevan suojelualueiden kokonaisuuden. Niin Innanlahti kuin Muuramenharjukin sijaitsevat Muuramen keskustan vaikutusalueella.



Kuva 13. Innanlahden lehdon luonnonsuojelualueen maankäytössä tapahtuneet muutokset vuosien 2010 ja 2015 välillä sekä Keski-Suomen yhdistetyn maakuntakaavan kaavamerkinnot. Kuvassa on korostettu luokat, jotka ovat muuttuneet ihmistoiminnan seurauksena. Näitä luokkia ovat voimakkaasti hoidetut metsät, hakkuuaukeat, joutomaat, tiet, rakennukset, piha-alueet ja vesialueet. Keltaisella on esitetty muut muuttuneet luokat, kuten hakkuuaukeiden taimettuminen. Lisäksi violeteilla renkailla on esitetty puskurivyöhykkeet 100 m, 300 m ja 500 m etäisyyksillä luonnonsuojelualueesta. Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2015.

Taulukko 18. Innanlahden lehdon suojelualueen tarkasteluvyöhykkeillä tapahtuneet maankäytön muutokset vuosien 2010 ja 2015 välillä.

ID	Maankäyttöluokka	Muutokset (%)			
		suojelualue	100 m	300 m	500
1	Vesialueet	0,0	0,0	-0,1	0,3
2	Tiet	0,0	0,0	-0,2	0,1
3	Rakennukset	0,0	0,0	0,1	0,1
4	Suot	0,0	0,0	0,0	0,0
5	Peltomaat	0,0	0,3	-0,2	-0,1
6	Hakkuuaukeat	0,0	0,0	-2,7	-3,5
7	Taimikot ja pensastot	0,0	-0,2	5,7	3,1
8	Luonnontilaiset / vähän hoidetut	0,0	6,8	9,2	4,1
9	Voimakkaasti hoidetut metsät	0,0	-7,0	-10,1	-3,0
10	Piha-alueet	0,0	0,0	0,6	-0,3
11	Joutomaat	0,0	0,1	-2,3	-1,0
12	Ulkoilureitit	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Kalliot ja kivennäismaat	0,0	0,0	0,0	0,0
14	Kaatunutta metsää	0,0	0,0	0,0	0,0

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Automaattinen luokittelu

Automaattisella luokittelumenetelmällä saavutettiin 62 %:n kokonaistarkkuus, mihin ei voitu olla tyytyväisiä tavoitteena olleen 70–80 % tuloksen jäädessä liian kaukaiseksi. Luokittelukokeilujen jatkamisen haasteelliseksi teki se, ettei maankäyttöluokkien oikein luokittumisessa ollut nähtävissä selvää johdonmukaisuutta, jota olisi voitu korjata kohtuullisella työmäärällä esimerkiksi luokittelijan opetusaineistoja täydentämällä.

Luokittelun virhematriisista (liite 8) ja siitä johdetuista taulukoista 7 ja 8 nähdään, että annetuilla tausta-aineistoilla ja parametreilla Random Trees -luokittelija tunnisti kohtalaisen hyvin luonnontilaiset / vähän hoidetut sulkeutuneet metsät. Luokittelijan oli kuitenkin vaikea tunnistaa muita metsäluokkia sekä ihmisvaikutteisia maankäyttöluokkia, mikä ei ollut odotettavissa näiden luokkien, kuten teiden ja rakennusten, selkeäpiirteisyyden takia. Esimerkiksi voimakkaasti hoidetut varttuneet ja harvapuustoiset metsät sekä kalliot ja kivennäismaat saivat hyvät Producer's Accuracy -arvot mutta heikot User's Accuracy -arvot. Luokittelun virhematriisista nähdään muun muassa, että voimakkaasti hoidettujen varttuneiden metsien luokkaan on luokiteltu paljon luonnontilaisten / vähän hoidettujen sulkeutuneiden metsien maankäyttöluokan edustajapisteitä sekä merkittävässä määrin myös taimikot ja pensastot -luokan edustajapisteitä. Vaikka luonnontilaisten / vähän hoidettujen sulkeutuneiden metsien maankäyttöluokan edustajapisteet on pystytty luokittelijan toimesta luokittelemaan kohtuullisen hyvin oikein, on sen edustajapisteitä silti suurimpana luokkana luokitunut virheellisesti hyvin moneen muuhun maankäyttöluokkaan, kuten edellä mainittuun hoidettujen varttuneiden metsien maankäyttöluokkaan, mutta myös muun muassa aiemmin mainittuihin hoidettujen harvapuustoisten metsien luokkaan sekä kallioiden ja kivennäismaiden luokkaan. Virhematriisista huomataan, että tämän lisäksi myös erityisesti hakkuuaukeiden, luonnontilaisten

nuorten metsien, taimikoiden ja pensastojen sekä teiden edustajapisteitä on luokiteltu virheellisesti toisiin luokkiin.

Automaattisen luokittelun epäonnistuminen saattoi johtua monesta asiasta ja niiden yhteisvaikutuksesta. Syväoanmäen suojelualueen kattava ilmakuva oli silmämääräisesti katsottuna kokoelma useista eri suunnista otettuja ilmakuvia, mistä johtuen valaistusolosuhteet sekä kuvakulma vaihtelivat tarkastelualueen sisällä. Tämän tyyppiset kuvanlaadun vaihtelut lisäävät alttiutta luokitteluvirheille niin automaattisessa kuin käsin tehdyssä luokittelussa. Lisäksi käsin luokiteltu referenssikuva sisältää aina myös tutkijan subjektiivisuudesta johtuvaa epätarkkuutta (Rozenstein & Karnieli 2011). Vaikkakin tässä työssä käytetyn OBIA-menetelmän on useassa tutkimuksessa todettu toimivan pikseliperusteista luokittelua paremmin (Dingle Robertson & King 2011, Whiteside ym. 2011), koostuu OBIA:n tekeminen useasta eri vaiheesta aina luokittelijan opetusaineistojen muodostamisesta luokittelijan valitsemiseen, mikä voi edelleen johtaa mahdollisten inhimillisten virheiden kumuloitumiseen ja siten huonoon luokittelutulokseen (Phiri & Morgenroth 2017).

Myös aineiston tarkkuudella on suuri merkitys lopputulosten kannalta. Aineiston resoluutio on osattava valita oikein, jotta lopputulos olisi toisaalta mahdollisimman totuudenmukainen, mutta toisaalta kuitenkin riittävästi ilmakuvaa yleistävä ylimääräisen kohinan ja luokittelutulosten pirstaloitumisen vähentämiseksi. Tämä on huomioitava etenkin segmentointia tehtäessä, sillä tässä työssä huomattiin, että pienemmällä pikselikoolla segmentoitaessa myös segmentit olivat pienempiä, mikä teki kuvasta pirstaleisemman. Toisaalta taas suuremmalla pikselikoolla segmentoitaessa vaarana on, että pinta-alaltaan ja pikselilukumäärältään pienempiä maankäyttöluokkia yhdistyy isompien luokkien segmenttien osaksi.

Aineiston tarkkuuden lisäksi myös aineiston yhdenmukaisuudella on suuri merkitys tulosten kannalta. Räsänen ym. (2013) totesivat, että hyvässä segmentoinnissa tulisi olla (1) merkityksellisiä, muttei liian kompleksisia segmenttejä ja (2) segmenttien rajojen tulisi olla yhteneviä referenssiaineiston polygonirajausten kanssa sekä edelliset kohdat huomioiden (3) segmentoinnin

tulisi olla mahdollisimman karkeapiirteinen. Nämä kohdat tiedostettiin tämän työn segmentoinnin hyvyttä arvioitaessa, mutta käytännössä niiden toteutumista oli vaikea silmämääräisesti arvioida. Segmentoinnin onnistuminen on suoraan yhteydessä luokittelutulokseen (Räsänen ym. 2013, Räsänen 2014) ja siten myös siinä mahdollisesti syntyneet virheet heikentävät automaattisen luokittelijan luokittelutarkkuutta.

Virtanen (2018) havaitsi, että kyseisen aineiston luokittelussa luokittelupuihin perustuvalla Random Trees –luokittelijalla, saatiin parempia tuloksia kuin yleisesti käytössä olevalla Maximum Likelihood Classifier (MLC) –luokittelijalla. Myös Friedl & Brodley (1997) ovat todenneet luokittelupuihin perustuvan luokittelumenetelmän tuottavan parempia tuloksia kuin perinteiset luokittelumenetelmät kuten MLC. Virtasen tuloksiin nojaten tässä työssä päädyttiin käyttämään Random Trees –luokittelijaa. Luokittelupuihin perustuvilla luokittelumenetelmillä on joitain etuja perinteisiin luokittelumenetelmiin verrattuna. Virtanen (2018) totesi Friedl & Brodleyn (1997) työhön nojaten, että ”kaukokartoitusaineiston luokittelussa luokittelupuihin perustuvat luokittelijat toimivat usein paremmin kuin perinteiset luokittelumenetelmät, sillä niiden oletukset luokkien jakaumista eivät ole niin tarkkoja”. Lisäksi Burai ym. (2015) havaitsivat, että Random Trees –luokittelija oli laskentateholtaan hyvin nopea verrattuna muihin luokittelumenetelmiin. Tässä työssä olisi vaadittu kuitenkin edelleen syvempää perehtymistä sekä menetelmien, niiden parametrien ja aineistojen resoluutioiden kattavaa vertailua aineiston kannalta sopivimman luokittelumenetelmän valitsemiseksi. Luokittelun toteuttaminen nimittäin osoittautui haasteelliseksi, sillä maankäyttöluokkien osuudet vaihtelivat hyvin paljon ilmakuvassa, jolloin tietyille maankäyttöluokille ei ollut mahdollista muodostaa riittävän suurta luokittelijan opetusaineistoa edes luokkia myöhemmin yhdistelemällä kuten Virtanen (2018) myös työssään havaitsi. Ja koska tästä syystä opetusaineistossa pikseleiden tai segmenttien määrä jäi liian vähäiseksi, ArcGIS-ohjelma antoi virheen ”low sample count”. Burai ym. (2015) havaitsivat saman ongelman todeten, että tämän tyyppisissä kohteissa tarvittaisiin robusteja luokittelumenetelmiä. Heidän havaintojensa mukaan Support Vector Machine

(SVM) –luokittelija toimi parhaiten vastaavien kohteiden luokitteluun, jossa osa luokkien opetusaineistoista jää väistämättä hyvin pieniksi vähäisen segmentti- tai pikselimääränsä takia. SVM-luokittelijaa testattiin tässä työssä aivan luokittelukokeilujen alkuvaiheessa, mutta tällöin käytössä ei vielä ollut lisäpiirrearvotasoja, jotka olisivat voineet parantaa luokittelutulosta. Mikäli työtä haluttaisiin viedä eteenpäin, olisi tärkeää edelleen kartoittaa muiden luokittelumenetelmien sopivuutta ja testata, tuottaisiko SVM parempia tuloksia kuin Random Trees ja MLC-luokittelijat tuottivat.

Lisäksi tässä työssä päädyttiin Virtasen (2018) tulosten perusteella hyödyntämään luokittelun tukena sekä glcm-tekstuuripiirretasoja että aallokkeita. Vaikka näiden lisäpiirrearvotasojen on useissa tutkimuksissa todettu parantavan luokittelutarkkuutta (Su ym. 2012, Räsänen 2014), Räsänen (2014) havaitsi, että vaikka esimerkiksi metsähabitaattien tehokkaaseen kartoittamiseen tarvitaan useita aineisto- ja piirretasoja, ei glcm-tekstuuripiirteiden sekä aallokkeiden käyttäminen luokittelussa samanaikaisesti kuitenkaan lisännyt luokittelun tarkkuutta.

Myös eri aineistolähteiden käyttäminen nyt käytettyjen lisänä olisi melko varmasti tuottanut parempia tuloksia. Työssä pohdittiin esimerkiksi metsään.fi-palvelun tarjoaman metsäkuvioaineiston tai Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) tuottamien Valtakunnan metsien inventointi –aineistojen (VMI) hyödyntämistä. Kumpaakaan näistä vaihtoehdoista ei nähty toteuttamiskelpoiseksi siinä vaiheessa työtä, jolloin useita luokittelutestauksia oli jo tehty, sillä ne olisivat teettäneet runsaasti lisätyötä aineiston saattamiseksi työn kannalta sopivaan muotoon. Metsään.fi-palvelun soveltamista ei nähty mahdolliseksi myöskään sen takia, että se tuli työn kannalta liian myöhään avoimeksi ja se sisälsi vain yksityisessä omistuksessa olevat metsät eikä niitäkään täysin kattavasti. Tällöin julkisessa omistuksessa olevat metsäkuviotiedot olisi täytynyt pyytää kunnista erikseen. Valtakunnan metsien inventointi –aineistojen resoluutio sekä tuottamisajankohdat puolestaan poikkesivat merkittävästi tässä työssä käytetyistä lähtöaineistoista, mikä olisi aiheuttanut työhön epätarkkuutta, vaikka niitä olisikin pyritty korjaamaan. Myös Corine Land Cover –maankäyttöaineiston sekä laserkeilausaineiston

hyödyntämistä harkittiin, mutta myös näiden aineistojen tuottamisajankohdat poikkesivat liikaa tässä työssä käytetyistä tarkasteluvuosista.

On myös mahdollista, että parempia tuloksia olisi voitu saada käyttämällä muita kaukokartoitusaineistojen segmentointiin ja luokitteluun tarkoitettuja ohjelmia kuin ArcGIS. Rozenstein & Karnieli (2011) käyttivät työssään maankäytön luokitteluun ERDAS IMAGINE 2010 -ohjelmaa ja Räsänen (2014) käytti segmentointiin muun muassa eCognition-ohjelmaa. Phiri & Morgenroth (2017) havaitsivat eCognition-ohjelman tuottavan parempia segmentointituloksia kuin muiden vastaavien ohjelmien, mukaan lukien ERDAS Imagine -ohjelma. Esimerkiksi näiden ohjelmien käyttö olisi voinut olla mahdollista, mikäli työ olisi ollut laajempi. Tämän työn koko oli kuitenkin liian suppea, että siihen olisi voitu lisätä eri ohjelmistojen opettelua ja niillä tuotettujen tulosten vertailua.

4.2 Maankäytön muutokset lehto- ja vanhan metsän kohteiden välillä

Maankäytössä ei tapahtunut suojelualueita ympäröivillä puskurivyöhykkeillä tarkastelujakson aikana merkitsevää maankäytön muutosta eikä ihmisvaikutuksen havaittu lisääntyneen suojelualueiden ympäristössä (taulukko 9, liite 10). Suojelualuekohtaisia muutoksia tarkasteluvuosien välillä kuitenkin tapahtui (kuvat 8–13) ja osa näistä muutoksista voi olla paikallisesti hyvinkin merkittäviä sekä maankäytöllisesti että alueen ekologian ja mikroilmaston kannalta, mutta yleistä trendiä kaikkien kohteiden välillä ei ollut havaittavissa. Tulokset osoittivat myös, ettei mitään tiettyä maankäyttötyyppiä ollut painottunut joko lehto- tai vanhan metsän kohteiden ympärille (liitteen 10 taulukko 2). Tulos ei ole yllättävä, sillä tarkastelussa olleet kohdetyypit olivat keskenään hyvin samankaltaisia molempien edustaessa metsätyyppiä. Eriäviä tuloksia olisi todennäköisesti saavutettu, mikäli kohdetyypit olisi valittu toisistaan selvästi poikkeaviksi. Tulos on kuitenkin kiinnostava, joskin vain suuntaa antava pienen otoskoon takia.

Vaikka maankäytössä ei puskurivyöhykkeillä tapahtunut merkitseviä muutoksia, löytyi eniten muutoksia sisältäneiden maankäyttöluokkien väliltä korrelaatioita

(liitteen 10 taulukot 3-5). Erityisesti vanhan metsän kohteissa oli nähtävissä selvä yhteys hakkuiden ja luonnontilaisten / vähän hoidettujen metsien osuuksien muutoksissa niin 300 m kuin 500 m puskurivyöhykkeillä (kuvat 5 ja 6), vaikkakin 300 m puskurivyöhykkeellä normaalisuustestin tulos poikkesi normaalijakaumasta aiheuttaen tulokseen epävarmuutta. Suojelualuekohtaisista muutokartoista nähdään, että Sallaajärven ja Syväojanmäen suojelualueiden läheisyyteen on tarkasteluajanjaksona ilmaantunut useita hakkuuaukeita (kuvat 8–10). Vaikka maankäyttöluokille kohteittain lasketut prosentuaaliset muutososuudet näyttävät hakkuuaukeiden enimmäkseen olleen seurausta luonnontilaisen/ vähän hoidetun metsän kaatamisesta, ovat ne voineet osittain olla seurausta myös voimakkaasti hoidetun metsän kaatamisesta. Voimakkaasti hoidettujen metsien sekä taimikoiden ja pensastojen muutoksen yhteyttä 500 m puskurivyöhykkeellä tulkittaessa on hyvä huomata, että voimakkaasti hoidetun metsän muuttuessa taimikoksi kyse on kyseisten metsien kohdalla tapahtuneista hakkuista, jotka on ehditty toteuttaa ja jotka ovat myös ehtineet taimettua tarkasteluajanjakson aikana (kuva 7). Korrelaatio oli selvää erityisesti lehtokohteissa.

Kohdetyyppikohtaisista tuloksista huolimatta muutokartat näyttävät, että tarkasteluajanjaksona yksittäisissä kohteissa tapahtui selviä muutoksia ja joissakin kohteissa eritoten 100 m puskurivyöhykkeellä tapahtuneet muutokset saattoivat olla merkittäviä luonnonsuojelualan ekologian ja mikroilmaston kannalta. Näistä esimerkkinä ovat luonnonsuojelualan rajalle asti toteutetut avohakkuut, joita ilmeni erityisesti vanhan metsän kohteissa Sallaajärven aarnialueen ja Syväojanmäen suojelualan välittömässä läheisyydessä ulottuen paikoitellen jopa hieman luonnonsuojelualan sisäpuolelle (kuvat 8 ja 9). Voimakkaasti hoidettuja metsiä havaittiin ilmestyneen Sallaajärven aarnialueen sekä lehdoista Punavuoren lehdon välittömään läheisyyteen, joista Sallaajärven aarnialueen tapauksessa metsänhoidolliset toimenpiteet ulottuivat myös luonnonsuojelualan sisäpuolelle (kuvat 8 ja 12).

Syväojanmäen suojeluanne koostuu kahdesta erillisestä suojeluanneesta, joista toinen alue on muodoltaan kapea ja monimutkainen. Tämän tyyppinen suojeluanne

on erityisen altis ihmistoiminnasta aiheutuville reunavaikutuksille, jotka voivat aiheuttaa muutoksia suojelualueen ekosysteemien toiminnassa ja biodiversiteetissa sekä aiheuttaa habitaatin muuttumista (Hansen & DeFries 2007). Myös Punavuoren lehto on muodoltaan pitkän ja kapean mallinen sekä pinta-alaltaan varsin pieni, mikä tekee sen yhtä lailla reunavaikutuksille alttiiksi. Hakkuut vähentävät biodiversiteettia radikaalisti, mutta tutkimusten mukaan myös metsänhoitotoimenpiteet heikentävät metsän biodiversiteettia (Gauthier ym. 2015, Paillet ym. 2010). Metsänhoito heikentää metsän biodiversiteettia etenkin sellaisten lajien osalta, jotka ovat herkkiä muutokselle ja jotka ovat riippuvaisia vanhan metsän tarjoamasta elinympäristöstä muun muassa lahoppuun takia. Esimerkiksi käyvät ovat puita lahottavia sieniä, jotka ovat boreaalisissa metsissä uhanalaistuneet avohakkuiden seurauksena (Ylisirniö ym. 2016). Harper ym. (2005) havaitsivat, että hoitamattomissa metsissä reunavaikutus johtaa usein reunojen läheisyydessä evapotranspiraation, maatumisen ja kasvien kasvun lisääntymiseen, sekä suojan ja puuston tiheyden vähenemiseen. Myös Ylisirniö ym. (2016) havaitsivat, että tuore, esimerkiksi avohakkuista syntynyt muutos, loi reunavaikutuksen boreaalisen kuusimetsän ilmankosteuteen ulottuen muutoksen reunalta 50 metriin asti metsän sisäosiin. Harper ym. (2005) mukaan reunavaikutus oli sitä voimakkaampi, mitä suurempi ero maankäyttömuotojen välillä on. Näin ollen voidaan olettaa, että tutkituilla alueilla voimakkaasti hoidetun metsän reunavaikutus itse luonnonsuojelualueen ekologiaan ja mikroilmastoon ei ole kovin suuri, kun puolestaan avohakkuun merkitys on huomattava. Tässä työssä tutkituista kohteista erityisesti Syväojanmäen suojelualueella voidaan suojelun edellytysten nähdä edellä mainituista syistä heikentyneen.

4.3 Maankäytön muutokset maakuntakaavamerkintöjen näkökulmasta

Tarkasteltaessa eri maakuntakaavamerkintöjen esiintyvyyttä kaikkien suojelualueiden ympäristössä sekä erikseen lehto- tai vanhan metsän kohteiden ympäristössä, ei niiden välillä havaittu selkeää yhtäläisyyttä maankäytössä tapahtuneisiin muutoksiin (kuvat 8–13). Suojelukohteiden ympärillä oli erilaisia maakuntakaavamerkintöjä vaihtelevissa määrin, mutta edes samanlaisten

maakuntakaavamerkintöjen esiintyvyydessä eri kohdetyyppien välillä ei ollut selkeää yhtäläisyyttä.

Lehtokohteista Sarvivuoren lehdon ja Innanlahden lehdon ympäristössä yhteneviä maakuntakaavamerkintöjä olivat taajamatoimintojen alue sekä moottorikelkkareitti. Kummankin suojelualueen yhteydessä oli myös arvokas geologinen esiintymä sekä ulkoilureitti tai sen tarve. Yhteistä näille lehtokohteille oli, ettei kummassakaan kohteessa ollut tapahtunut suuria maankäytöllisiä muutoksia (kuvat 11 ja 13). Vaikka tapahtuneet muutokset olivat erilaisia, oli niiden luonne silti saman suuntainen, sillä ihmisvaikutuksen osuus kohteissa oli vähentynyt (taulukot 15, 16 ja 18). Tulos on positiivinen ottaen huomioon, että kummankin suojelualueen läheisyydessä on taajamatoimintojen alue, mutta havaittua tulosta ei voida selittää kaavamerkintöjen perusteella.

Vanhan metsän kohteista Sallaajärven aarnialueen ja Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueen puskurivyöhykkeillä oli ainoastaan yksi yhtenevä maakuntakaavamerkintä: matkailun ja virkistykseen kehittämisen kohdealuemerkintä. Kyseisen merkinnän lisäksi molempien kohteiden läheisyydessä oli ulkoilureitti, joskin Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueella se kulki puskurivyöhykkeiden ulkopuolella. Kohdemerkinnät ovat luonnollisesti yhteydessä toisiinsa, mutta tarkasteltujen suojelukohteiden tapauksessa ne eivät selittäneet maankäytössä tapahtuneita muutoksia, sillä muutokset olivat kohteissa hyvin eri suuntaisia; ihmisvaikutukset Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueella ja sen kaikilla puskurivyöhykkeillä olivat vähentyneet, kun taas Sallaajärven suojelualueella ja sen kaikilla puskurivyöhykkeillä ihmisvaikutukset olivat lisääntyneet (taulukko 12).

Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueen ympäristössä matkailun ja virkistykseen kehittämisen kohdealuemerkinnällä on voinut jossain määrin olla vaikutusta alueen maankäyttöön, mutta todennäköistä on, että vaikutukset tulevat näkyvämmäksi pidemmällä tarkastelujaksolla tulevien vuosien tai vuosikymmenen aikana. Matkailun ja virkistykseen kehittämisen

kohdealuemerkintää suurempi vaikutus maankäytössä havaittuihin muutoksiin on todennäköisesti suojelualueita ympäröivällä suojelumetsän kaavamerkinnällä (kuva 10). Kuvasta 10 nähdään, että tarkasteluajanjakson aikana suojelumetsäkaavamerkinnän peittämälle alueelle ei ole ilmestynyt yhtä pientä poikkeusta lukuun ottamatta yhtään ihmisvaikutteista maankäyttöluokkaa. Kaavamerkinnän peittämällä alueella todetut muutokset käsittävät pääasiassa vanhojen hakkuuaukeiden taimettumisen, taimikoiden kasvun luonnontilaisiksi / vähän hoidetuiksi metsiksi tai voimakkaasti hoidettujen metsien rehevöitymisen eli metsänhoitotoimenpiteiden vähenemisen. Tuloksia tulkittaessa on kuitenkin syytä ottaa huomioon, että suojelumetsä on perustettu 1990-luvun lopulla ja kuitenkin suojelumetsän peittämällä alueella on paljon keltaisella merkittyjä maastokuvioita eli muuttuneita luokkia. Havaitut muutokset kertovat ihmisvaikutuksen vähenemisestä, mutta tarkoittavat samalla, että ihmisvaikutus hakkuineen ja hoitometsineen on alueella ollut näkyvämpää myös sinä aikana, kun merkitty alue on ollut suojelumetsää (kuva 10, taulukot 11 ja 14). Maankäytön kehitys on siten kaavamerkinnän näkökulmasta ollut oikean suuntaista ja sillä voidaan nähdä olevan ohjaavaa vaikutusta suojelualan puskurivyöhykkeiden maankäyttöön. Kyseisen kaavamerkinnän ohjausvaikutuksen tehokkuudesta on kuitenkin vaikea tehdä johtopäätöksiä pelkästään tämän tarkasteluajanjakson perusteella edellä mainitusta syystä.

Suomessa maata ja metsää on paljon yksityisomistuksessa, mikä tekee uusien luonnonsuojelualueiden perustamisesta tai luonnonsuojelusta niiden ympärillä toisinaan haasteellista. Luonnonsuojelualueita on pyritty perustamaan erilaisilla insentiiveillä vapaaehtoisuuteen perustuen, mistä hyvänä esimerkkinä on METSO-ohjelma (Koskela 2017). Vapaaehtoisuuteen perustuvat ohjelmat ja insentiivit ovat hyvä keino luonnon suojelemiseksi, mutta haasteena niissä voi olla kattavan luonnonsuojelualueverkoston muodostaminen, jossa huomioitaisiin luonnonsuojelualueiden väliset yhteydet. Tässä kaavoituksella on keskeinen rooli, sillä kaavoituksella voidaan asettaa metsien käyttöä ohjaavia kaavamääräyksiä (Kärkkäinen ym. 2017). Kaavamääräyksillä voi olla paitsi merkittäviä vaikutuksia metsien käytön ja suojelun kannalta, niin myös huomattavia taloudellisia

vaikutuksia metsänomistajille ja metsiin perustuville elinkeinoille (Kärkkäinen ym. 2017).

Maakuntakaava sisältää yleispiirteisen suunnitelman alueiden käytöstä maakunnassa tai sen osa-alueella ja siinä esitetään alueiden käytön ja yhdyskuntarakenteen periaatteet osoittaen maakunnan kehittämisen kannalta tarpeelliset alueet (MRL 1999/132). Maakuntakaavamerkintöjen ohjausvaikutuksia tarkasteltaessa on hyvä todeta, ettei maakuntakaava ole oikeusvaikutteinen yleiskaava-alueella (MRL 1999/132), jolla suurin osa tässä työssä tarkastelluista suojelukohteista ainakin osittain sijaitsee. On kuitenkin huomioitava, että kaavahierarkiasta johtuen maakuntakaava ohjaa yleiskaavan laadintaa ja siten yleiskaavassa on otettava huomioon maakuntakaavassa asetetut alueidenkäytön kehittämisen tavoitteet (MRL 1999/132). Vaikka tässä työssä tarkasteltiin, miten maakuntakaavamerkinnät ovat ohjanneet maankäyttöä myös yleiskaava-alueella sijaitsevien suojelualueiden ympäristössä, on tutkimuskysymys silti edellä mainitusta syystä relevantti.

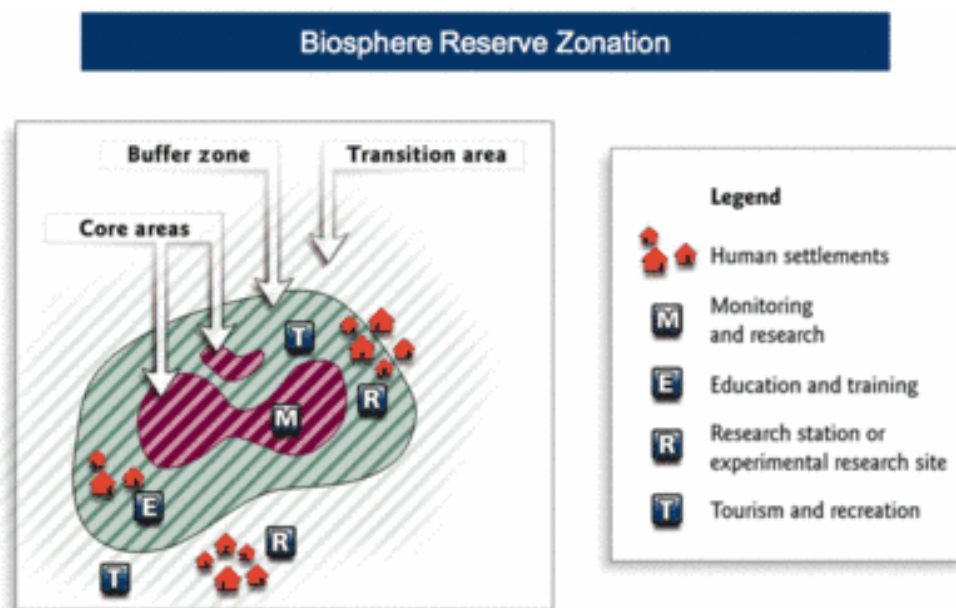
Kaavamerkintöjen maankäytön ohjausvaikutusta ja sen vaikutusten arviointia on tutkittu vielä niin Suomessa kuin maailmanlaajuisestikin hyvin vähän. Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää arvioimaan maakuntakaavan aiheuttamia merkittäviä vaikutuksia (MRL 1999/132), mikä koskee kuitenkin vain uusia maakuntakaavoja. Edellisen kaavan aiheuttamia ympäristövaikutuksia ei Suomessa tällä hetkellä mitata ja arvioida tai selvitetä, onko kaavoitus tuottanut suunnitellun laisia maankäytöllisiä muutoksia. Kuten Kalliokin (2001) totesi, kaavoituksen ja sen toteutumisen seuranta luonnonsuojelualueverkon tukena ja luonnon monimuotoisuuden säilyttämisessä tuovat uusia haasteita alueiden käytön tarkasteluun. Ne tulisi kuitenkin pystyä ottamaan huomioon kaavoituksen todellisten vaikutusten selvittämiseksi ja maankäytön suunnittelun kehittämiseksi aiempaan tutkimus- ja kokemustietoon nojaten.

4.4 Puskurivyöhykkeiden käyttö ja merkitys

Luonnonsuojelualueiden lähiympäristön maankäyttö vaikuttaa myös itse suojelualueisiin koskien erityisesti luonnoltaan herkkiä ja pienialaisia suojelualueita (Kallio 2001). Sekä Kallio (2001) että Ylisirniö ym. (2016) totesivat, että ympäristön reunavaikutuksen ulottuessa 50 metriä suojelualueen reunalta sen sisäosiin, olisivat alle hehtaarin kokoiset suojelualueet täysin reunavaikutuksen alaisia. Tässä työssä tutkittujen lehto- ja vanhan metsän kohteiden pinta-alat vaihtelivat Sarvivuoren lehdon 2,6 hehtaarista Kuusmäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueen 223 hehtaariin lehtokohteiden ollen selvästi vanhan metsän kohteita pienialaisempia (liite 1). Punavuoren lehdon ja Sarvivuoren lehdon suojelualueet ovat pinta-alaltaan yli hehtaarin kokoisia, mutta kuitenkin vain muutaman hehtaarin kokoisia ja muodoltaan kapeita, joten on oletettavaa, että kyseiset suojelukohteet ovat herkkiä ympäröivillä puskurivyöhykkeillä tapahtuville maankäytön muutoksille.

Vaikka joissain yksittäisissä kohteissa, kuten Syväojanmäen suojelualueen ympärillä, hakkuiden pinta-alan osuus oli tarkasteluvuosien välillä lisääntynyt, ei työssä havaittu trendiä hakkuiden tai voimakkaasti hoidettujen metsien lisääntymisellä suojelualueiden ympärillä. Tutkiessaan maankäytön muutoksia Suomen luonnonsuojelualueiden ympärillä, Kallio (2001) kuitenkin havaitsi, että avomaat ja vähäpuustoiset kivennäismaat korostuivat erityisesti luonnonsuojelualueiden ympärillä viitaten siihen, että metsätalouden ja suojelun yhteensovittaminen on paikoin tuottanut vaikeuksia ja lisännyt hakkuupainetta suojelualueiden lähistöllä. Hänen havaintojensa mukaan myös eteläisimmillä alueilla ilmeni jonkin verran tilanteita, joissa rakennettujen alueiden ja tiestön osuus oli huomattava juuri luonnonsuojelualuetta ympäröivällä vyöhykkeellä. Kallion (2001) mukaan havainnot kertovat paikoittain kasvaneista maankäyttöpaineista luonnonsuojelualueiden ympärillä, eritoten Etelä-Suomessa ja keskiboreaalisen vyöhykkeen metsätalousalueilla, mutta toisaalta myös maankäytön yleisen intensiteetin jatkumisesta verrattain samanlaisena niin luonnonsuojelualueiden ympäristössä kuin kauempanakin. Kallion (2001) mukaan tämä heijastelee

puskurivyöhykkeiden vähäisyyttä tai puuttumista suojelualueiden ympäriltä, mikä on linjassa sen tiedon kanssa, että Suomessa tällaista puskurivyöhykeajattelua ei ole otettu käytäntöön. Maailmalla sen sijaan käsite suojavyöhykkeistä on yleisesti tunnettu ja sitä on monin paikoin sovellettu käytäntöön. Suojavyöhykkeillä (buffer zone) ihmistoimintaa rajoitetaan suojelualueen arvojen suojelemiseksi ja ekosysteemipalveluiden turvaamiseksi muun muassa ohjaamalla maankäyttöä ihmisvaikutuksiltaan vähäisempiin käyttömuotoihin luonnonsuojelualueen läheisyydessä (McGray 2003, Geneletti & van Duren 2008, Zhang ym. 2013). Suojavyöhykestrategian otti ensimmäisenä käyttöön UNESCO (United Nations Educational, Environmental, Scientific and Cultural Organization), jonka myötä UNESCO:n biosfäärialueille ympäri maailman on laadittu suojavyöhykkeitä maankäytön ohjaamiseksi niiden ympärillä (kuva 14) (McGray 2003). Suojavyöhykkeille voidaan määrätä vyöhykekohtaiset suojelutasot maankäytön ohjaamiseksi, kuten esimerkiksi Italiassa on tehty, ja suojelutasot voivat vaihdella tiukasta luonnonsuojelusta turismiin sekä virkistyskäyttöön (Geneletti & van Duren 2008). Toisaalta suojavyöhykkeet voivat toimia myös alueina, joista paikalliset asukkaat voivat kerätä resursseja paikallisten elinkeinojen ylläpitämiseksi ja taloudellisen hyvinvoinnin lisäämiseksi siten vähentäen vaikutusta itse suojelualueeseen (McGray 2003, Straede & Treue 2006).



Kuva 14. UNESCO:n (United Nations Educational, Environmental, Scientific and Cultural Organization) biosfäärialueiden suojavyöhykkeet ja vaihtumisyöhykkeet. Lähde: UNESCO 2018.

Suojavyöhykkeiden tehokkuudesta luonnonsuojelualueiden suojelun turvaamisessa on saatu vaihtelevia tuloksia. Weisse & Naughton-Treves (2016) havaitsivat suojavyöhykkeiden vähentävän luonnonsuojelualueisiin kohdistuvia paineita metsien hakkuun ja kaivostoiminnan osalta Perun Amazonissa, kun taas Mehring & Stoll-Kleemann (2011) havaitsivat, että suojavyöhykkeet eivät onnistuneet ehkäisemään metsähakkuita Lore Lindun biosfäärialueella Indonesiassa. Jotta suojavyöhykkeet toimisivat tehokkaammin luonnonsuojelualueiden suojelemisessa, tulisi termistöä ja suojavyöhykkeitä koskevia määräyksiä selventää sekä suojelualueista vastaavien viranomaisten ja maankäytöstä vastaavien paikallisviranomaisten tehdä yhteistyötä suojavyöhykkeiden määrittelyä ja maankäytön ohjaamiseksi (McGray 2003, Lima ym. 2018).

Suomen, tai ainakin tämän työn tarkastelukohteiden osalta, suoja-aluevyöhykeajattelun toteutusta lähinnä lienee Kuusimäki-Tikkamäki-Kirkkokangas-Valkeavuoren suojelualueen ympäristössä suojeltu suojelumetsä. Tämä noin 800 hehtaarin suojelumetsä on Metsähallituksesta saatujen tietojen mukaan Metsähallituksen omalla päätöksellään alueellisen luonnonvarasuunnitelman maankäyttöpäätöksenä perustama. Suojelumetsän tarkoituksena on tukea

lajistollisesti arvokkaiden vanhojen metsien alueiden suojelutavoitteita, minkä voidaan käytännössä nähdä tarkoittavan suoja-aluevyöhykkeen perustamista. Metsähallituksen tietojen mukaan suojelumetsästä tultaneen perustamaan lakisääteinen suojelualue.

Tutkimukset osoittavat, että luonnonsuojelualueiden ympäröivien alueiden käyttö vaikuttaa myös itse suojelualueeseen, sen ekologiaan ja mikroilmastoon (Kallio 2001, Harper ym. 2005, Ylisirniö ym. 2016). Luonnonsuojelualueiden ulkopuolisten maankäyttömuotojen kyky säilyttää biodiversiteettia vaikuttaa vahvasti suojelutarpeen määrittelyyn (Kallio 2001). Tämä tulisi ottaa paremmin huomioon luonnonsuojelualueita suunniteltaessa, sillä pienet, hajallaan sijaitsevat ja ulkoisen maankäyttöpaineen alla olevat suojelualueet ovat alttiita häiriöille. Suojelualuestrategiat eivät todennäköisesti toimisi Suomessa suuresta yksityisestä maanomistuksesta johtuen, mutta erinäisten suositusten ja insentiivien avulla suojelualueiden ympärille voisi olla mahdollista luoda puskurialueita suojelualueiden elinvoiman ylläpitämiseksi sekä ekologisten käytävien luomiseksi läheisten suojelualueiden välille.

4.5 Tulosten luotettavuus ja yleistettävyyys

Tulosten voidaan olettaa olevan suuntaa antavia, mutta pienestä otoskoosta johtuen tulokset eivät ole yleistettävissä suureen joukkoon. Otokokoa kasvattamalla voitaisiin saada parempi kuva lehtojen ja vanhan metsän suojelukohteiden sisällä ja ympäristössä tapahtuneista muutoksista.

Paikkatietomenetelmin toteutettavan ilmakuvienv luokittelun todettiin soveltuvan hyvin maankäytön muutosten analysointiin ja asetettujen tutkimuskysymysten tutkimiseksi. Tässä työssä ilmakuvat jouduttiin luokittelemaan käsin, mikä heikensi tulosten yleistettävyyttä edellä mainitusta pienestä otoskoosta johtuen. Vaikka automaattisia luokittelumenetelmiä ei tässä työssä saatu toimimaan, on niillä monissa muissa tutkimuksissa saatu hyviä tuloksia (Dingle Robertson & King

2011, Räsänen 2014, Burai ym. 2015, Phiri & Morgenroth 2017), minkä takia niiden potentiaalia vastaavissa tutkimuksissa tulisi edelleen tutkia.

Otoskoon lisäksi epävarmuutta tuloksiin aiheuttaa tutkijan subjektiivisuus (Rozenstein & Karnieli 2011) sekä inhimillinen virhe johtuen pitkälti samoista syistä kuin automaattisen luokittelijan kohdalla todettiin (kohta 4.1.2.). Ilmakuvatulkinta on haasteellista etenkin metsätyyppejä luokiteltaessa, sillä moni asia, kuten puuston korkeus, jää luokittelutilanteessa tulkinnanvaraiseksi. Tämä aiheuttaa epävarmuutta paitsi eri metsäluokkien erottamiseksi toisistaan niin myös eri metsäluokkien sekä taimikot ja pensaat -luokan välille. Yksi selkeimmistä luokiteltavista luokista oli hakkuuaukeat, jotka useimmiten olivat hyvin yksiselitteisesti luokiteltavissa. Tästä syystä tässä työssä havaittuihin hakkuuaukeiden muutoksiin voidaan suhtautua suurella varmuudella.

Eri kohteita luokiteltaessa vastaan tuli myös ilmakuvia, jotka oli otettu alku- tai kevättalvella. Näitä olivat Innanlahden lehdon ja Punavuoren lehdon vuoden 2010 ilmakuvat. Tällaisten ilmakuvien luokittelu on erityisen haasteellista, sillä talvisista ilmakuvista on erittäin vaikeaa tulkita kasvillisuuspiirteitä, mikä altistaa kyseisten kohteiden luokittelun entistä suuremmalle epävarmuudelle.

Mikäli työtä haluttaisiin jatkaa, tulisi huomioon ottaa useita seikkoja, joihin tämän työn puitteissa ei pystytty tai ehditty ajoissa tarttumaan. Otoskoon pienuus tunnistettiin jo työn aikana, mutta sen kasvattaminen ei tämän työn puitteissa ollut mahdollista automaattisen luokittelumenetelmän toimimattomuuden takia, sillä kohteiden käsin luokittelu oli aikaa vievää. Kuitenkin yksinkertaistamalla ja vähentämällä tarkasteltavien maankäyttöluokkien määrää voitaisiin käsin luokittelusta saada huomattavasti nopeampaa ja tehokkaampaa mahdollistaen näin useamman kohteen tutkimisen. Tarkastelualueita tulisi myös laajentaa tai vaihtoehtoisesti laajentaa aikaikkunaa tarkasteluvuosille. Tässä työssä päädyttiin valitsemaan kyseiset tarkasteluvuodet yhdistetyn maakuntakaavan laatimisajankohdan perusteella, mikä rajasi saatavilla olevien ilmakuvien ja lisäaineistojen määrää. Valinta oli relevantti tutkimuskysymyksen kannalta, mutta se muodosti esteen kattavamman analyysin tekemiselle, sillä kyseisiltä vuosilta ei

ollut kattavasti saatavissa maankäyttöä ja maastonpiirteitä kuvailevia lisäaineistoja, kuten esimerkiksi laserkeilaus- tai Corine Land Cover –aineistoja.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Luonnonsuojelualueiden puskurivyöhykkeillä ei tapahtunut merkitsevää maankäytön muutosta eivätkä ihmisvaikutukset niillä selkeästi lisääntyneet. Suojelualuekohtaisia muutoksia tarkasteluvuosien välillä kuitenkin tapahtui osan näistä muutoksista saattaen olla paikallisesti hyvinkin merkittäviä. Maakuntakaavamerkinnot eivät selittäneet havaittuja muutoksia, mutta kaavoituksen rooli luonnonsuojelualueiden suojeluarvojen ylläpitämisessä ja kattavan luonnonsuojelualueverkoston suunnittelussa on syytä ottaa huomioon kaavoitusta tehtäessä ja sen vaikutusta arvioitaessa niin luonnonsuojelualueilla kuin niiden ympäristössä. Luonnonsuojelualueiden puskurivyöhykkeillä tapahtuneista maankäytön muutoksista saadut tulokset ovat yleisesti ottaen positiivisia luonnonsuojelun toteutumisen kannalta, mutta laajempaa tutkimusta tarvittaisiin kattavamman ja paremmin yleistettävissä olevan kokonaiskuvan muodostamiseksi.

Työn toteutuksen kannalta voidaan paikkatietomenetelmin toteutettavan ilmakuvioiden luokittelun todeta soveltuvan hyvin maankäytön muutosten analysointiin, mutta automaattisten luokittelumenetelmien käyttökelpoisuutta tulisi lisätutkimuksissa edelleen testata erilaisilla luokittelijoilla, parametreilla ja aineistotasolla paremman luokittelutuloksen aikaansaamiseksi.

KIITOKSET

Kiitokset ohjaajilleni Elisa Valliukselle ja Anssi Lensulle avusta ja tuesta koko prosessin ajan. Kiitokset myös Enni Virtaselle, joka teki LuK-työnsä segmentointi- ja luokittelumenetelmien testauksen parissa sekä Reima Välivaaralle (Keski-Suomen maakunnan liitto) ja Jukka Haikaralle (Jyväskylän kaupunki), jotka antoivat apunsa tarvitsemiini paikkatieto- ja ilmakuva-aineistojen saamiseksi. Haluan kiittää myös perhettäni, joka on joutanut ja antanut kaiken avun työni edistämiseksi.

KIRJALLISUUS

ArcGIS Desktop (a). How Principal Components works.

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-principal-components-works.htm> (luettu 24.11.2018)

ArcGIS Desktop (b). Train Support Vector Machine Classifier.

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/train-support-vector-machine-classifier.htm> (luettu 9.12.2018)

ArcGIS Desktop (c). Train Random Trees Classifier.

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/train-random-trees-classifier.htm> (luettu 29.11.2018)

ArcGIS 10.5.1 Help. Understanding Segmentation and Classification.

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-segmentation-and-classification.htm>
(luettu 24.8.2017)

Blaschke, T. 2010. Object-based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65: 2–16.

Breiman L. 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45: 5–32.

- Burai P., Deák B., Valkó O. & Tomor T. 2015. Classification of Herbaceous Vegetation Using Airborne Hyperspectral Imagery. *Remote Sensing* 7: 2046–2066.
- Cortes C. & Vapnik V. N. 1995. Support Vector Networks. *Machine Learning* 20: 273–297.
- Dingle Robertson L. & King D.J. 2011. Comparison of pixel- and object-based classification in land cover change mapping. *International Journal of Remote Sensing* 32: 1505–1529.
- Euroopan ympäristövirasto. <https://www.eea.europa.eu/> (luettu: 19.11.2018)
- Gao Y., Mas J. F., Kerle N. & Navarrete Pacheco J. A. 2011. Optimal region growing segmentation and its effect on classification accuracy. *International Journal of Remote Sensing* 32: 3747–3763.
- Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A. Z. & Schepaschenko D. G. 2015. Boreal forest health and global change. *Science* 349: 819–822.
- Geneletti D. & van Duren I. 2008. Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. *Landscape and urban planning* 85: 97–110.
- Hansen A. J & DeFries R. 2007. Ecological mechanisms linking protected areas to surrounding lands. *Ecological Society of America* 17: 974–988.
- Harper K., Macdonald E., Burton P., Chen J., Brososke K., Saunders S., Euskirchen E., Roberts D., Jaiteh M. & Esseen P-A. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 19: 768–782.
- Helmisaari H-S., Kaarakka L. & Olsson B. A. 2014. Increased utilization of different tree parts for energy purposes in the Nordic countries. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29: 312–322.
- Jyväskylän kaupungin verkkosivut. www.jyvaskyla.fi (luettu: 19.11.2018)

- Kallio M. 2001. Luonnonsuojelualueiden ja niiden ulkopuolisten maa-alueiden vertailu maankäyttö- ja puustotulkinnan perusteella. Suomen ympäristö 494, Suomen ympäristökeskus.
- Ke Y., Quackenbush L. J. & Im J. 2010. Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LIDAR data for object-based forest species classification. *Remote Sensing of Environment* 114: 1141–1154.
- Koljonen T., Soimakallio S., Asikainen A., Lanki T., Anttila P., Hildén M., Honkatukia J., Karvosenoja N., Lehtilä A., Lehtonen H., Lindroos T. J., Regina K., Salminen O., Savolahti M., Siljander R. & Tiittanen P. 2017. Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017, saatavissa: https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/21_Energia-+ja+ilmastostrategian+vaikutusarviot+Yhteenvetoraportti/40df1f5f-c99c-47d1-a929-a4c825f71547?version=1.0
- Korhonen K., Ihalainen A., Ahola A., Heikkinen J., Henttonen H., Hotanen J-P., Nevalainen S., Pitkänen J., Strandström M. & Viiri H. 2017. Suomen metsät 2003–2013 ja niiden kehitys 1921–2013. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 59/2017, Luonnonvarakeskus, saatavissa: http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540537/luke-luobio_59_2017.pdf?sequence=6&isAllowed=y.
- Koskela T. 2017. Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden turvaaminen – Luken METSO-tutkimuksen 2013–2016 raportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 65/2017, Luonnonvarakeskus, saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540641/luke-luobio_65_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kuuluvainen T. 2009. Forest management and biodiversity conservation based on natural ecosystem dynamics in Northern Europe: The complexity challenge. *Ambio*; Stockholm 38: 309–315.

- Kärkkäinen L., Haakana H., Hirvelä H., Lempinen R. & Packalen T. 2017. Metsätalousvaikutusten arvioinnin kehittäminen kaavoituksessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 43/2017, Luonnonvarakeskus, saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540176/luke-luobio_43_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lilja S. & Kuuluvainen T. 2005. Structure of old *Pinus Sylvestris* dominated forest stands along a geographic and human impact gradient in mid-boreal Fennoscandia. *Silva Fennica* 39: 407–428, saatavissa: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf39/sf393407.pdf>
- Lima F., Checon E., Ranieri L. & Eduardo V. 2018. Land use planning around protected areas: Case studies in four state parks in the Atlantic forest region of southeastern Brazil. *Land Use Policy* 71: 453–458.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.
- Maanmittauslaitos. Maastotietokanta – Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet (2016). <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/maastotietokohteet.pdf> (luettu 3.12.2018)
- McGray H. 2003. Buffer zones as a conservation strategy. *Journal of Sustainable Forestry* 16: 103–119.
- Mehring M. & Stoll-Kleemann S. 2011. How effective is the buffer zone? Linking institutional processes with satellite images from a case study in the Lore Lindu forest biosphere reserve, Indonesia. *Ecology and Society* 16: 3.
- Metsähallitus 2014. Suojelualueiden hoidon ja käytön periaatteet. –Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, sarja B 203, saatavilla: <https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/lp/Bsarja/b203.pdf>

- Paillet Y., Bergès L., Hjältén J., Ódor P., Avon C., Bernhardt-Römermann M., Bijlsma R.-J., De Bruyn L., Fuhr M., Grandin U., Kanka R., Lundin L., Luque S., Magura T., Matesanz S., Mészáros I., Sebastià M.-T., Schmidt W., Standovár T., Tóthmérész B., Uotila A., Valladares F., Vellak K. & Virtanen R. 2010. Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology* 24: 101–112.
- Phiri D. & Morgenroth J. 2017. Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. *Remote Sensing* 9: 967.
- R Core Team 2018. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Itävalta. <https://www.R-project.org/>
- Robertson N. & Chan T. 2009. Aerial Image Segmentation for Flood Risk Analysis. Proceedings, IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2009: 597–600.
- Rozenstein O. & Karnieli A. 2011. Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Applied Geography* 31: 533–544.
- Räsänen A., Rusanen, A., Kuitunen M. & Lensu A. 2013. What makes segmentation good? A case study in boreal forest habitat mapping. *International Journal of Remote Sensing* 34: 8603–8627.
- Räsänen A. 2014. Developing and Comparing Methods for Mapping Habitat Types and Conservation Values Using Remote Sensing Data and GIS Methods. Doctoral Thesis, University of Jyväskylä.
- Straede S. & Treue T. 2006. Beyond buffer zone protection: A comparative study of park and buffer zone products' importance to villagers living inside Royal Chitwan National Park and to villagers living in its buffer zone. *Journal of Environmental Management* 78: 251–267.

- Su W., Zhang C., Yang J., Wu H., Deng L., Ou W., Yue A. & Chen M. 2012. Analysis of wavelet packet and statistical textures for object-oriented classification of forest-agriculture ecotones using SPOT 5 imagery. *International Journal of Remote Sensing* 33: 3557–3579.
- Suomen ympäristökeskus SYKE 2014. Corine Land Cover 2012. <http://metatieto.ymparisto.fi:8080/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BA58329D8-3ED0-47B8-B789-3095EE55C255%7D> (luettu 3.12.2018)
- UNESCO 2018. What are the biosphere reserve zones?
<http://www.unesco.org/new/en/apia/natural-sciences/biodiversity-biosphere-reserves-geoparks/frequently-asked-questions/9/>
(luettu: 9.12.2018)
- Virtanen E. 2018. Suomalaisen metsämaiseman analysointi ArcGIS-ohjelman segmentointi- ja luokittelumenetelmillä. LuK-tutkielma, Jyväskylän yliopisto: 28 s.
- Weisse M. & Naughton-Treves L. Conservation beyond park-boundaries: The impact of buffer zones on deforestation and mining concessions in the Peruvian Amazon. *Environmental Management* 58: 297–311.
- Whitcher B. 2015. Waveslim: Basic wavelet routines for one-, two- and three-dimensional signal processing. R package version 1.7.5. <https://CRAN.R-project.org/package=waveslim>
- Whiteside T. G., Boggs G. S. & Maier S. W. 2011. Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13: 884–893.
- Wiki.GIS.com. Confusion matrix.
http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Confusion_matrix (luettu 21.9.2018)

Ylisirniö A-L., Mönkkönen M., Hallikainen V., Ranta-Maunus T. & Kouki, J. 2016. Woodland key habitats in preserving polypore diversity in boreal forests: Effects of patch size, stand structure and microclimate. *Forest Ecology and Management* 373: 138–148.

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu.

<http://www.ymparisto.fi/fi-FI> (luettu 19.11.2018)

Zhang Z., Sherman R., Yang Z., Wu R., Wang W., Yin M., Yang G. & Ou, X. 2013. Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China. *Journal of Nature Conservation* 21: 225–240.

Zvloff A. 2016. Gldm: Calculate Textures from Grey-Level Co-occurrence Matrices (GLCMs). R package version 1.6.1. <https://CRAN.R-project.org/package=gldm>

LIITE 1. SUOJELUALUEIDEN KOHDEKUVAUKSET

LM = lehtometsäkohde ja VM = vanhan metsän kohde.

Lähteet: Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu, Jyväskylän kaupungin verkkosivut ja Euroopan ympäristövirasto.

Kohteen nimi	Kohde-tyyppi	Sijainti-kunta	Koko (ha)	Kohdekuvaus
Innanlahden lehto	LM	Muurame	Ei tiedossa (Muuramen harju-Innanlahden lehto: 228 ha)	Muuramenharjun eteläpäässä sijaitseva kuusta kasvava kostea saniaisvaltainen rinnelehto, jossa esiintyy vaateliasta lehtokasvillisuutta.
Sarvivuoren lehto	LM	Jyväskylä	2,6	Suojelualan pohjoisosassa metsä on iäkstä kuusik-koa ja etelämpänä koivu- ja leppävaltaista lehtokorpea. Alueen pohjoislaidalla olevasta lähteestä alkunsa saava puro virtaa rehevän saniaiskasvuston ja suojelualan läpi Päijänteeseen asti.
Punavuoren lehto	LM	Korpilahti, Jyväskylä	3,53	-
Syväoanmäen suojelualue	VM	Jyväskylä	18,6	Koostuu kahdesta osaluueesta. Lätisempi kuvio on luonnontilaisen lähteen ja siitä lähtevän lähdepuron ympärille keskitettyä vanhaa metsää. Toinen kuvio keskittyy suoalueeseen ja sen ympäristöön. Edus-tava rehevien suotyyppeiden, kuten korpien ja lettojen, sekä luonnontilaisten pienvesien kohde. Lähteen sekä lähdepuron merkitystä lisäävät niiden ympärillä oleva luonnontilaisen kaltainen metsä-alue.
Kuusmäki-Tikkamäki-	VM	Muurame	223	Alue käsittää neljä osittain toisiinsa liittyvää vanhan

Kirkkokangas-
Valkeavuori

Sallaajärven VM Jyväskylä 24,5
aarnialue

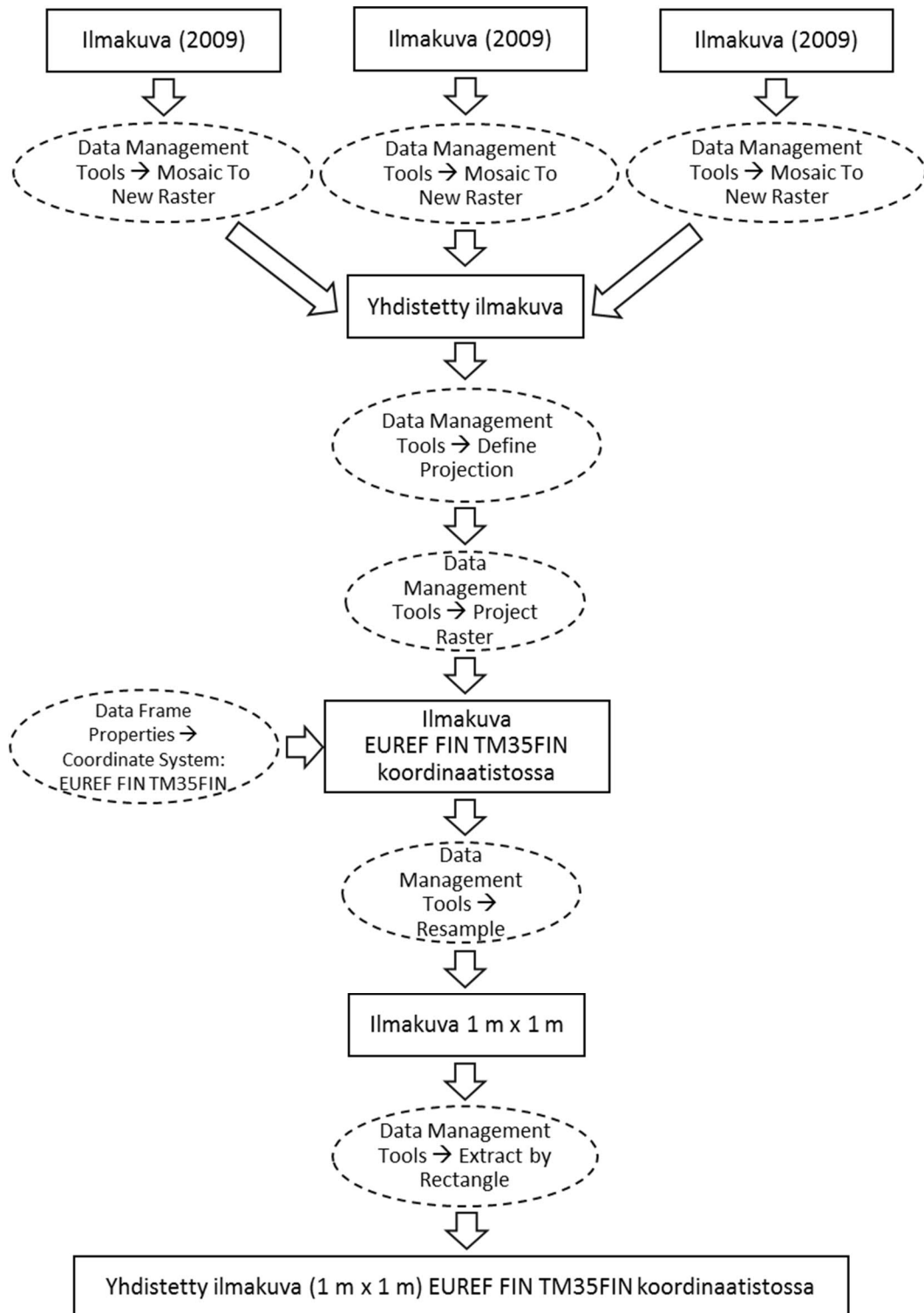
metsän aluetta, jossa korkeat mäet ja niiden väliset notkelmat vuorottelevat. Alueen metsät ovat suurimmaksi osaksi n. 135-vuotiaita, pääosin tuoreen kankaan ja lehtomaisen kankaan havupuu-metsiä. Pääasiassa mustikkatyypin ja rehevämmän käenkaali-mustikkatyypin kuusikkoa käsittävää metsää. Alueen vanhimmat puut ovat iältään runsaan sadan vuoden ikäisiä

LIITE 2. MAANKÄYTTÖLUOKKIEN KUVAUKSET

Maankäyttöluokka	Kuvaus
Vesialueet	Järvet, lammet, joet ja purot. Sekä luonnolliset että keinotekoiset.
Tiet	Liikennöidyt tiet kuten metsäautotiet, maantiet, moottoritiet, rautatiet sekä kevyen liikenteen väylät.
Rakennukset	Rakennusten peittämät alueet.
Suot	Avosuot ja kosteikot sekä vähämetsäiset suot.
Peltomaat	Vakinaisessa viljelyskäytössä tai viljelyskierron piirissä olevat peltomaat sekä laidunnusalueet. Luokka pitää sisällään myös muut ravinnon tuotantoon suunnatut alueet, kuten kasvatusmarjapensastot.
Hakkuuaukeat	Uusia tai vanhoja hakkuualueita, jotka ovat täysin tai lähes puuttomia. Alueilla vähän tai ei juurikaan pensasmaista tai varvikkoista kasvillisuutta.
Taimikot ja pensastot	Luokka pitää sisällään sekä hoidetut että hoitamattomat taimikot ja pensastot sekä ruohostot.
Luonnontilaiset / vähän hoidetut metsät	Täysikasvuista tai nuorta lehti-, havu- tai sekametsää, jossa ei näy selviä merkkejä metsänhoidollisista toimenpiteistä. Puusto on vaihtelevaa joko metsätyyppinsä tai puustokorkeutensa suhteen eikä puiden järjestäytyminen näytä seuraavan mitään systematiikkaa.
Voimakkaasti hoidetut metsät	Täysikasvuista tai nuorta lehti-, havu- tai sekametsää, Voimakkaasti hoidetussa metsässä on selvästi tehty metsänhoidollisia toimenpiteitä (esim. harvennushakkuina tai istutuksina), jotka näkyvät ilmakuvasa yksipuolisena metsätyyppinä, puiden systemaattisena järjestäytymisenä, puiden saman ikäisyytenä tai metsäkoneiden jättäminä urina metsämaastossa.
Piha-alueet	Rakennusten liitännäisalueet kuten mm. rakennuksiin kuuluvat tontit, tieverkot, piha-alueet ja parkkipaikat.
Joutomaat	Sisältää mm. hiekka- ja sorakuopat, kasvittomat teiden pientareet ja ihmisten muokkaamat maa-alueet, joilla ei selkeää käyttötarkoitusta tai jotka toimivat maanottoalueina.
Ulkoilureitit	Selvästi maastosta poikkeavat, leveäuraiset ulkoilureitit.
Kalliot ja kivennäismaat	Avokalliot ja louhikot. Puuston latvuspeitto ja kasvipeitteisyys hyvin vähäistä.
Kaatunutta metsää	Myrskyn kaatamaa metsää, jossa puusto on jäänyt maahan.

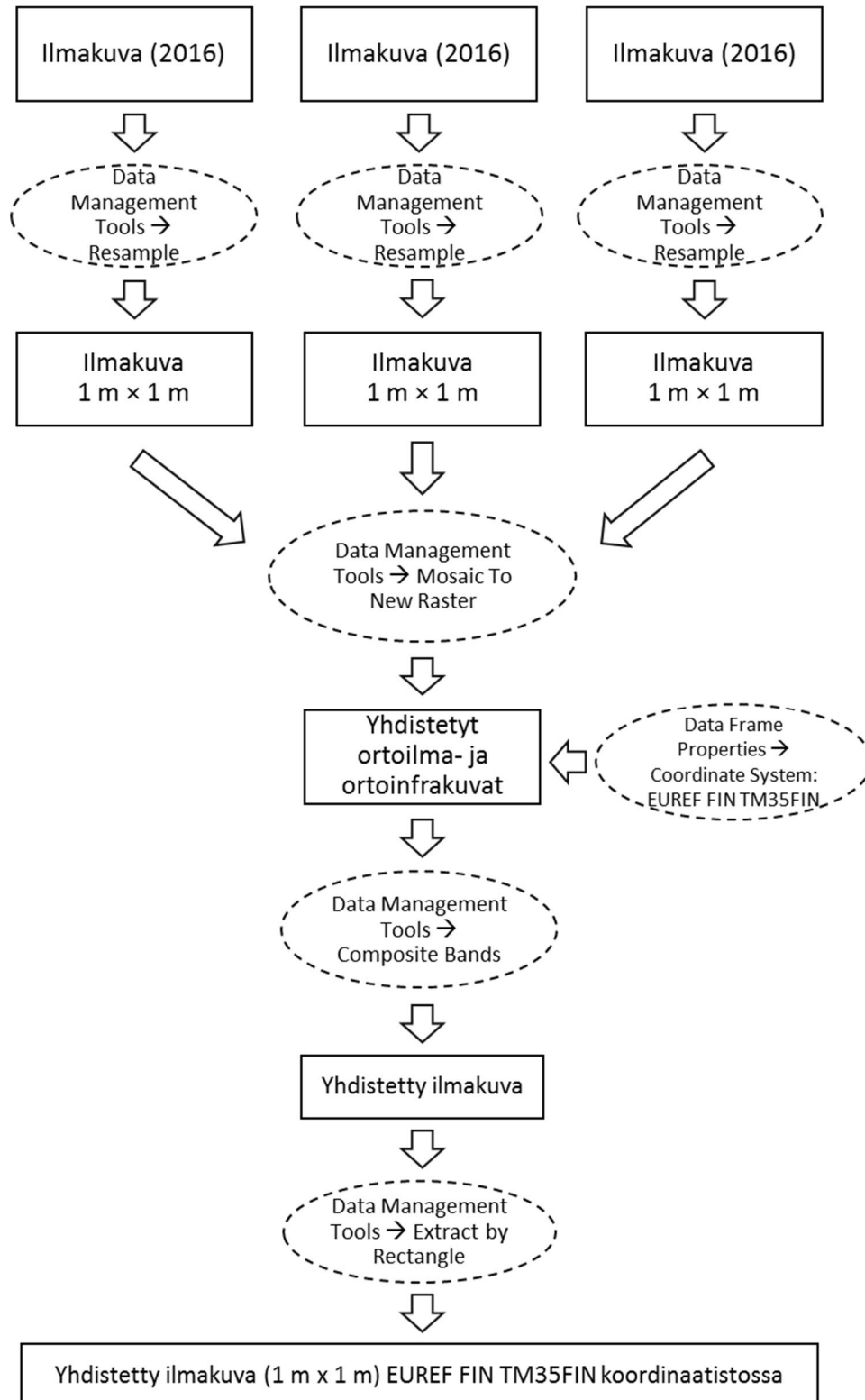
LIITE 3. JYVÄSKYLÄN KAUPUNGILTA SAATUJEN ILMAKUVA-AINEISTOJEN ESIKÄSITTELY AUTOMAATTISTA LUOKITTELUA VARTEN ARCGIS-OHJELMASSA

Kolme eri ilmakuvaa (2009) ja niille tehtyä toimintoa kuvastavat erillisten ilmakuvien käsittelyä ensin yksittäin ennen niiden yhdistämistä yhdeksi ilmakuvaksi.



LIITE 4. MAANMITTAUSLAITOKSEN ILMAKUVA-AINEISTOJEN ESIKÄSITTELY AUTOMAATTISTA LUOKITTELUA VARTEN ARCGIS-OHJELMASSA

Kolme eri ilmakuvaa (2016) ja niille tehtyä toimintoa kuvastavat erillisten ilmakuvien käsittelyä ensin yksittäin ennen niiden yhdistämistä yhdeksi ilmakuvaksi.



LIITE 5. GLCM-TEKSTUURIPIIRTEIDEN LASKENTA R:SSÄ

Komentoketju Aleksii Räsänen tekemä ja sittemmin Anssi Lensun, Räsänen työn ohjaajan, tätä työtä varten muokkaama. Laskennan eri vaiheiden kuvailussa hyödynnetty Virtasen (2018) työtä.

```
# Kirjastojen käyttöönotto, aineistojen tuominen ohjelmaan sekä niiden
havainnollistaminen

library(raster)
library(glcm)
print("Select the image file you want to process")
myimg = stack(fname <- file.choose())
plot(myimg)

# Tiedostopolun, tiedostonimen ja tiedostopäätteen erottaminen
fbase_ext = unlist(strsplit(basename(fname), "."))
fbase = fbase_ext[1]; ind = 1
while(ind < length(fbase_ext)-1) {
  ind = ind + 1
  fbase = paste(fbase, ".", fbase_ext[ind], sep="")
}
fdir = dirname(fname)

# Tekstuuripiirrekuvien muodostaminen
for(i in 1:length(myimg@layers)) {
  mylayer = myimg@layers[[i]]
  mytex = glcm(mylayer, window=c(7,7), n_grey=16)
  windows(title=paste("Band", i))
  plot(mytex)

# Kuvien tallentaminen
  writeRaster(mytex, paste(fdir, "/", fbase, "_", as.character(i), ".img", sep=""),
              "HFA", overwrite = TRUE)
}
```


LIITE 6. DAUBECHIES'N AALLOKKEIDEN LASKENTA R:SSÄ

```
# Kirjastot käyttöön
library(rgdal)
library(waveslim)
library(vegan)
library(car)
library(MASS)

# Luetaan rasterikuva sisään
img <- readGDAL(fname <- choose.files(caption="Select image file", multi=F))
image(img)
summary(img)

# Extract path, filename, and extension
fbase_ext = unlist(strsplit(basename(fname), "."))
fbase = fbase_ext[1]; ind = 1
while(ind < length(fbase_ext)-1) {
  ind = ind + 1
  fbase = paste(fbase, ".", fbase_ext[ind], sep="")
}
fdir = dirname(fname)

# Funktio, jolla voidaan tehdä kuvan taajuuskaistoille Box-Cox-muunnos
box.cox.image <- function(image) {
  newimage <- image
  for(i in 1:length(names(image))) {
    myimg <- image[[i]] + 1
    bcrec <- boxcox(myimg ~ 1, lambda=seq(-10,10,length=21))
    optbc <- bcrec$x[which.max(bcrec$y)]
    newimage[[i]] <- decostand(bcPower(myimg, optbc),method="range")*255
  }
  newimage
}
```

```

}

newimg <- box.cox.image(img)

par(mar=rep(0,4))

image(newimg, red="band1", green="band2", blue="band3")

# Havainnollistetaan komponenttikuvat ja RGB
windows(width=10)
opar <- par(mfrow=c(2,2), mar=c(0.1,0.1,2,0.1))
image(newimg, attr="band1", col=grey(seq(0,1,0.005))); title(main="Red")
image(newimg, attr="band2", col=grey(seq(0,1,0.005))); title(main="Green")
image(newimg, attr="band3", col=grey(seq(0,1,0.005))); title(main="Blue")
image(newimg, attr="band4", col=grey(seq(0,1,0.005))); title(main="NIR1")
par(opar)

# Tehdään vihreälle kanavalle Wavelet-muunnos
vihrea <- matrix(newimg$band2, ncol=img@grid@cells.dim[2])
windows()
image(vihrea)

G <- modwt.2d(vihrea, "la8", 4)
Gs <- shift.2d(G)
Gg <- Gs[[1]]
for(i in 2:12)
  Gg <- Gg + Gs[[i]]

range.scale <- function(data) {
  dmin <- min(data); dmax <- max(data)
  (data - dmin) / (dmax - dmin)
}

plottaa <- function(kuvadata, mainstr="") {

```

```

image(matrix(range.scale(kuvadata)*255,          ncol=img@grid@cells.dim[2]),
      col=grey(seq(0,1,0.005)))
title(main=mainstr)
}

# Avataan uusi ikkuna, jotta vertailukohta jää näkyviin, ja näytetään eri
# taajuuksien komponenttikuvat ja summakuvat eri suuntaisista taajuuksista
windows(width=12)
opar <- par(mfcol=c(3,5), mar=c(3,3,2,1)/1.9, pty="s")
for(i in 1:12)
  plottaa(Gs[[i]])
plottaa(Gs[[1]] + Gs[[4]] + Gs[[7]])
plottaa(Gs[[2]] + Gs[[5]] + Gs[[8]])
plottaa(Gs[[3]] + Gs[[6]] + Gs[[9]])
par(opar)

windows()
opar <- par(mfcol=c(2,2), mar=c(2.5,2.5,3,1), pty="s")
plottaa(Gs[[13]], "Residual")
plottaa(Gg, "Summed frequencies")
plottaa(Gg + Gs[[13]], "Reconstructed")
plottaa(vihrea, "Original")
par(opar)

# Tallennetaan vielä tulokset
for(i in 1:13) {
  resimg <- SpatialGridDataFrame(grid=img@grid,
    data=data.frame(i1=as.integer(255.99*range.scale(Gs[[i]]))),
    proj4string=img@proj4string)
  colnames(resimg@data) <- "band1"
  fname <- paste(fdir, "/", fbase, "_", as.character(i), ".img", sep="")
  writeGDAL(resimg, fname, drivername="HFA", type="Byte")
  rm(resimg)
}

```

LIITE 7. SEGMENTOINTI- JA LUOKITTELUKOKEILUT LISÄPIIRREARVOTASOJEN JA PÄÄKOMPONENTTIANALYYSIN KANSSA

Kokeilu	Segmentoinnin ja pääkomponentti-analyysin järjestys	Resol.	Segm.para-metrit	Pääkomponenttianalyysiin	Pääkomp. lkm	Luokittelija
1	1. segmentointi RGIR-kaistoille 2. pääkomp. analyysi muille lisäpiirrearvotasolle	1x1	16 10 160	wavelets 1-9 GLCM: - band_R: mean(1), variance(2) - band_G: mean(1) - band_IR: entropy(6), second moment(7)	4	Random Trees
2	- " -	1x1	16 10 160	wavelets 1-6 GLCM: - band_R: mean(1), variance(2) - band_G: mean(1) - band_IR: entropy(6), second moment(7)	3	Random Trees
3	- " -	1x1	16 10 160	R+G+IR wavelets 1-5, 13 GLCM: - band_G: mean(1) - band_IR: second moment(7)	3	Random Trees
4	1. pääkomp. analyysi kaikille (+ varjot) tasolle (myös RGIR)	1x1	16 10 160	R+G+IR wavelets 1-6	3	Random Trees

2. näistä 3 ensimmäistä tasoa
segmentointiin

5	1. segmentointi RGIR-kaistoille 2. pääkomponenttianalyysi muille lisäpiirrearvotasolle	1x1 10 160	16 10 160	GLCM: - band_R: mean(1), variance(2) - band_G: mean(1) - band_IR: entropy(6), second moment(7) wavelets 1-6 (SetNull-tasot) GLCM: - band_R: mean(1), variance(2) - band_G: mean(1) band_IR: entropy(6), second moment(7)	2	Random Trees
6a	- " -	1x1 10 160	16 10 160	wavelets 1-6 (SetNull-tasot) GLCM: - band_R: mean(1), variance(2) - band_G: mean(1) - band_IR: entropy(6), second moment(7)	2	Random Trees (luokittelijan parametrit: 50, 30, 100)
6b	- " - (metsä- luokkia yhdistelty)	1x1 10 160	16 10 160	wavelets 4-6 (SetNull-tasot) GLCM: - band_R: mean(1), variance(2) - band_G: mean(1) - band_IR: entropy(6), second moment(7)	2	Random Trees

7	"	-	1x1	16	-	band_IR: entropy(6), second moment(7)	3	Random Trees
						wavelets 1-6 (SetNull-tasot)		
				10		GLCM:		
				160		- band_R: mean(1), variance(2)		
						- band_G: mean(1)		
						- band_IR: entropy(6), second moment(7)		
8	"	-	1x1	16	-	wavelets 1-6 (SetNull-tasot)	3	
						GLCM:		
				10				
				160		- band_R: mean(1), variance(2)		
						- band_G: mean(1)		
						- band_IR: entropy(6), second moment(7)		

Kuva 2. Syväoanmäen suojelualueelle lasketut pinta-alat ja niiden muutosarvot.

Syväoanmäki 2009 LS-alue

LABEL		FID_Area_TOTAL	Merkitsevä	Osuus-%	Arcus-muunnos
1	Vesialueet	2065	2070	1,11	0,10554
2	Tiet	2205	2210	1,19	0,10909
3	Rakennukset	0	0	0,00	0,00000
4	Suot	11989	12000	6,44	0,25667
5	Peltomaat	0	0	0,00	0,00000
6	Hakkuuaukeat	0	0	0,00	0,00000
7	Taimikot ja pensastot	5408	5410	2,91	0,17132
8	Luonnontil. Metsät	164226	164000	88,27	1,22127
9	Hoidetut metsät	18	18	0,01	0,00977
10	Piha-alueet	0	0	0,00	0,00000
11	Joutomaat	127	127	0,07	0,02610
12	Ulkoilureitit	0	0	0,00	0,00000
13	Kalliot ja kivennäismaat	0	0	0,00	0,00000
14	Kaatumutta metsää	0	0	0,00	0,00000
				100,00	

Syväoanmäki 2016 LS-alue

LABEL		FID_Area_TOTAL	Merkitsevä	Osuus-%	Arcus-muunnos
1	Vesialueet	1941	1940	1,04	0,10233
2	Tiet	3644	3640	1,96	0,14041
3	Rakennukset	0	0	0,00	0,00000
4	Suot	10571	10600	5,68	0,24069
5	Peltomaat	0	0	0,00	0,00000
6	Hakkuuaukeat	912	912	0,49	0,07007
7	Taimikot ja pensastot	1702	1700	0,91	0,09580
8	Luonnontil. Metsät	167264	167000	89,91	1,24748
9	Hoidetut metsät	0	0	0,00	0,00000
10	Piha-alueet	0	0	0,00	0,00000
11	Joutomaat	0	0	0,00	0,00000
12	Ulkoilureitit	0	0	0,00	0,00000
13	Kalliot ja kivennäismaat	0	0	0,00	0,00000
14	Kaatumutta metsää	0	0	0,00	0,00000
				100,0	

muutos-%

-0,07

0,77

0,00

-0,76

0,00

0,49

-1,99

1,63

-0,01

0,00

-0,07

0,00

0,00

0,00

Kuva 3. Syväoajanmäen suojelualueen maankäyttöluokat ryhmiteltynä ihmisvaikutteisiin ja ei-ihmisvaikutteisiin ryhmiin, joille laskettu pinta-alat ja niiden muutosarvot.

Ryhmittely ihmisvaikutusten mukaan		100 m		300 m		500 m	
Punavuorenielto 2010 Bufferit		FID_0 Area	Osuus-%	FID_0 Area	Osuus-%	FID_0 Area	Osuus-%
Ryhmit							
1	Ihmisvaikutteiset	35917	6,64	117609,00	14,97	227193,00	26,03
2	Ei-ihmisvaikutteiset	504976	93,35	667781,75	85,02	634395,25	72,70
			99,99		100,00		98,73
							0,54
							1,02
Punavuorenielto 2015 Bufferit							
Ryhmit							
1	Ihmisvaikutteiset	81560	14,66	363892	48,06	278220	34,56812
2	Ei-ihmisvaikutteiset	474608	85,33	393210	51,93	526579	65,42614
			100,00		100,00		99,99426
							0,628517938
							0,942217996
Muutos %							
100 m			muutos-%	300 m	muutos-%	500 m	muutos-%
1	Ihmisvaikutteiset		8,02		33,09		8,53
2	Ei-ihmisvaikutteiset		-8,02		-33,09		-7,27
Bufferin pinta-ala ilman taimikoita ja pensastoja 2010		540955		785417		872649	
Bufferin pinta-ala ilman taimikoita ja pensastoja 2015		556181		800000		804845	
100 m		100 m		300 m		500 m	
Bufferin pinta-ala ilman taimikoita ja pensastoja 2010		540955		785417		872649	
Bufferin pinta-ala ilman taimikoita ja pensastoja 2015		556181		800000		804845	
Punavuorenielto 2010 LS-alue							
Ryhmit							
1	Ihmisvaikutteiset			2350	1,30	0,114302274	
2	Ei-ihmisvaikutteiset			178280	98,70	1,456331419	
					100,00		
Punavuorenielto 2015 LS-alue							
Ryhmit							
1	Ihmisvaikutteiset			4556	2,47	0,15786071	
2	Ei-ihmisvaikutteiset			179776	97,52	1,412771262	
					99,99		
Ryhmit							
1	Ihmisvaikutteiset						1,17
2	Ei-ihmisvaikutteiset						-1,17
LS-alueen pinta-ala ilman taimikoita ja pensastoja 2010		180636		184341			
LS-alueen pinta-ala ilman taimikoita ja pensastoja 2015		180636		184341			

LIITE 10. TILASTOLLISTEN TESTIEN TULOKSET

Taulukko 1. Yksisuuntaisen t-testin testisuureet ja p-arvot. Testillä tutkittiin, onko testiryhmien maankäytössä tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta eri tarkasteluvyöhykkeillä, N = 6 ja testiarvo on 0. Tähdellä on (*) merkitty tilastollisesti merkitsevät arvot.

Bufferi	Maankäyttöluokka	t	df	p-arvo
100 m	Vesialue	-1,000	5	,363
	Tiet	-,302	5	,775
	Rakennukset	,733	5	,497
	Suot	-1,134	5	,308
	Peltomaat	1,179	5	,291
	Hakkuut	1,324	5	,243
	Taimikot	,182	5	,863
	LTmetsat	-,310	5	,769
	Hoid.metsat	,043	5	,967
	Pihat	-,071	5	,946
	Joutomaat	,971	5	,376
	Kaatunut metsa	1,000	5	,363
	300 m	Vesialue	-1,857	5
Tiet		-,937	5	,392
Rakennukset		1,941	5	,110
Suot		-,939	5	,391
Peltomaat		-1,321	5	,244
Hakkuut		,542	5	,611
Taimikot		,178	5	,866
LTmetsat		-,271	5	,798
Hoid.metsat		-,313	5	,767
Pihat		,623	5	,561
Joutomaat		-,450	5	,671
Ulkoilureitit		-1,000	5	,363
Kaatunut metsa		1,000	5	,363
500 m	Vesialue	-,779	5	,471
	Tiet	,238	5	,822
	Rakennukset	1,601	5	,170
	Suot	,493	5	,643
	Peltomaat	-1,540	5	,184
	Hakkuut	-,463	5	,663
	Taimikot	,556	5	,602
	LTmetsat	-,046	5	,965
	Hoid.metsat	,188	5	,858
	Pihat	-1,315	5	,246
	Joutomaat	-1,701	5	,150
	Ulkoilureitit	-1,000	5	,363
	Kalliot	,696	5	,518
Kaatunut metsa	1,000	5	,363	

Taulukko 2. Kahden riippumattoman otoksen t-testin testisuureet ja p-arvot. Testillä tutkittiin, onko testiryhmien välillä eroa siinä, minkä verran kutakin maankäyttöluokkaa suojelualueiden ympärillä esiintyy. Tarkastelussa verrattiin alkuketken ilmakuvia (vuodelta 2007–2010 suojelualueesta riippuen) loppuketken ilmakuviin (vuodelta 2015–2016 suojelualueesta riippuen), N = 3. Testin tuloksista tarkasteltiin Equal variances not assumed –arvoja, koska otosten variansseja ei voitu olettaa yhtä suuriksi. Tähdellä on (*) merkitty tilastollisesti merkitsevät arvot.

Bufferi	Maankäyttöluokka	Alkuketki (2007–2010)			Loppuketki (2015–2016)		
		t	df	p-arvo	t	df	p-arvo
100 m	Vesialue	-1,187	2,292	,344	-1,175	2,289	,348
	Tiet	-,026	2,111	,981	-,855	2,063	,480
	Rakennukset	,270	2,576	,807	,466	2,271	,682
	Suot	-3,230	2,000	,084	-1,975	2,000	,187
	Peltomaat	,345	2,464	,757	,351	2,461	,754
	Hakkuut	,232	2,195	,836	-1,515	3,966	,205
	Taimikot	-1,416	3,967	,230	-,125	3,294	,907
	LTmetsat	-1,669	2,277	,222	-1,233	3,322	,297
	Hoid.metsat	,753	2,166	,525	1,108	2,731	,356
	Pihat	,492	2,247	,667	,549	2,193	,634
	Joutomaat	-1,983	2,000	,186	,176	3,769	,869
	Ulkoilureitit	1,000	2,000	,423	1,000	2,000	,423
	300 m	Vesialue	,500	3,936	,643	,466	3,920
Tiet		1,144	2,020	,370	,741	2,057	,534
Rakennukset		,250	2,908	,819	,232	2,451	,834
Suot		-,936	3,633	,407	-,463	3,891	,668
Peltomaat		-,309	3,579	,775	-,248	3,517	,818
Hakkuut		-,786	3,982	,476	-1,894	3,779	,135
Taimikot		-,500	2,080	,665	-,186	3,870	,862
LTmetsat		-1,135	3,633	,326	-,127	2,783	,908
Hoid.metsat		1,372	3,727	,247	1,072	3,207	,358
Pihat		-,060	2,475	,957	,013	2,220	,991
Joutomaat		,344	2,413	,759	-,160	3,999	,880
Ulkoilureitit		1,000	2,000	,423	1,000	2,000	,423
500 m		Vesialue	,636	3,123	,568	,752	3,270
	Tiet	2,003	2,454	,159	1,508	2,430	,249
	Rakennukset	1,339	2,147	,305	1,311	2,233	,308
	Suot	-,076	3,941	,943	-,643	2,939	,567
	Peltomaat	-,538	3,720	,621	-,494	3,742	,649
	Hakkuut	-,084	2,549	,939	-,173	2,723	,875
	Taimikot	,365	3,973	,734	-,097	2,833	,929
	LTmetsat	-3,341	3,919	,030*	-4,525	3,828	,012*
	Hoid.metsat	,365	3,184	,738	1,384	3,969	,239
	Pihat	1,046	2,117	,400	,945	2,110	,440
	Joutomaat	-,017	2,697	,988	,132	3,116	,903
	Ulkoilureitit	1,000	2,000	,423	1,000	2,000	,423

Taulukko 3. Korrelaatiotestaus Pearsonin korrelaatiokertoimella (r) 100 m buffereilla. Testillä tutkittiin, korreloivatko valittujen maankäyttöluokkien muutokset tilastollisesti merkitsevästi keskenään kaikki tutkimuskohteet huomioden. N = 6. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on merkitty tähdellä (*).

		100 m bufferi			
		Hakkuu- aukeat	Taimikot/ pensastot	Luonnon- til./väh. hoid. metsät	Voimak- kaasti hoid. metsät
100 m bufferi					
Hakkuuaukeat	r	1			
	p-arvo				
Taimikot/ pensastot	r	0,008	1		
	p-arvo	0,989			
Luonnontil./ väh.hoid. metsät	r	-0,621	-0,213	1	
	p-arvo	0,188	0,685		
Voimakkaasti hoid. metsät	r	-0,031	-0,004	-0,705	1
	p-arvo	0,953	0,994	0,118	

Taulukko 4. Korrelaatiotestaus Pearsonin korrelaatiokertoimella (r) 300 m buffereilla. Testillä tutkittiin, korreloivatko valittujen maankäyttöluokkien muutokset tilastollisesti merkitsevästi keskenään kaikki tutkimuskohteet huomioden. N = 6. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on merkitty tähdellä (*).

		500 m bufferi			
		Hakkuu- aukeat	Taimikot/ pensastot	Luonnon- til./väh. hoid. metsät	Voimak- kaasti hoid. metsät
500 m bufferi					
Hakkuuaukeat	r	1			
	p-arvo				
Taimikot/ pensastot	r	0,134	1		
	p-arvo	0,800			
Luonnontil./ väh.hoid. metsät	r	-,902*	-0,372	1	
	p-arvo	0,014	0,468		
Voimakkaasti hoid. metsät	r	0,378	-0,195	-0,583	1
	p-arvo	0,460	0,712	0,225	

Taulukko 5. Korrelaatiotestaus Pearsonin korrelaatiokertoimella (r) 500 m buffereilla. Testillä tutkittiin, korreloivatko valittujen maankäyttöluokkien muutokset tilastollisesti merkitsevästi keskenään kaikki tutkimuskohteet huomioiden. N = 6. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on merkitty tähdellä (*).

		300 m bufferi			
		Hakkuu- aukeat	Taimikot/ pensastot	Luonnon- til./väh. hoid. metsät	Voimak- kaasti hoid. metsät
300 m bufferi					
Hakkuuaukeat	r	1			
	p-arvo				
Taimikot/ pensastot	r	0,254	1		
	p-arvo	0,628			
Luonnontil./ väh.hoid. metsät	r	-,972*	-0,157	1	
	p-arvo	0,001	0,767		
Voimakkaasti hoid. metsät	r	0,212	-,856*	-0,346	1
	p-arvo	0,687	0,030	0,502	

Taulukko 6. Shapiro-Wilk -normaalisuustesti korrelaatiotestauksessa käytetyille maankäyttöluokille. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on merkitty tähdellä (*).

Maankäyttöluokka		W	df	p-arvo
100 m	Hakkuuaukeat	0,805	6	0,065
	Taimikot ja pensastot	0,906	6	0,409
	Luonnontilaiset / vähän hoidetut metsät	0,950	6	0,743
	Voimakkaasti hoidetut metsät	0,886	6	0,296
300 m	Hakkuuaukeat	0,752	6	0,021*
	Taimikot ja pensastot	0,900	6	0,377
	Luonnontilaiset / vähän hoidetut metsät	0,883	6	0,283
	Voimakkaasti hoidetut metsät	0,959	6	0,812
500 m	Hakkuuaukeat	0,951	6	0,750
	Taimikot ja pensastot	0,975	6	0,922
	Luonnontilaiset / vähän hoidetut metsät	0,969	6	0,889
	Voimakkaasti hoidetut metsät	0,819	6	0,087