



Menetelmäkuvaus ja lopputuotteen laadunvarmistus

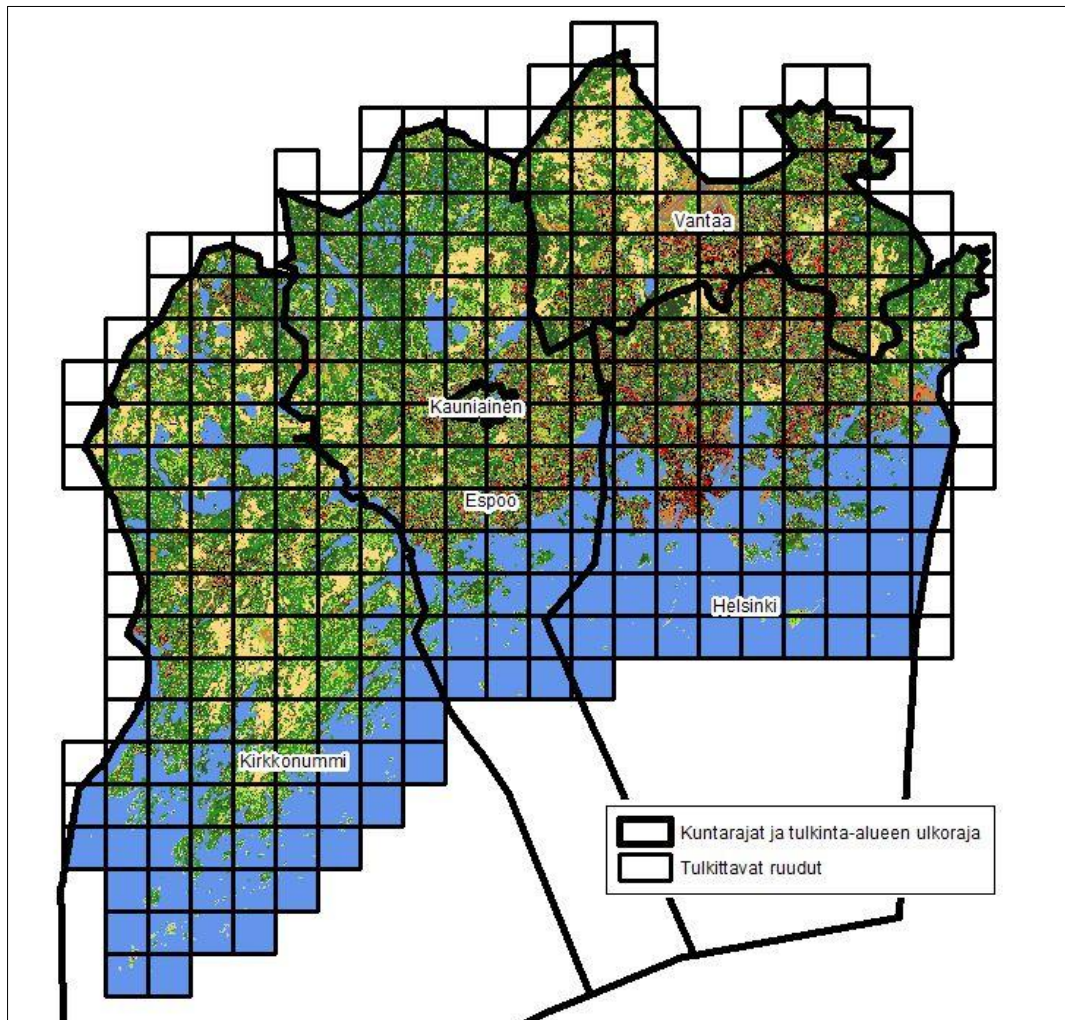
HSY: ilmakuva- ja pistepilvitulkinta:
Seudullinen maanpeiteaineisto

Raportoija:
Annukka Pesonen

1. TEHTÄVÄN MÄÄRITTELY JA LÄHTÖAINEISTOT

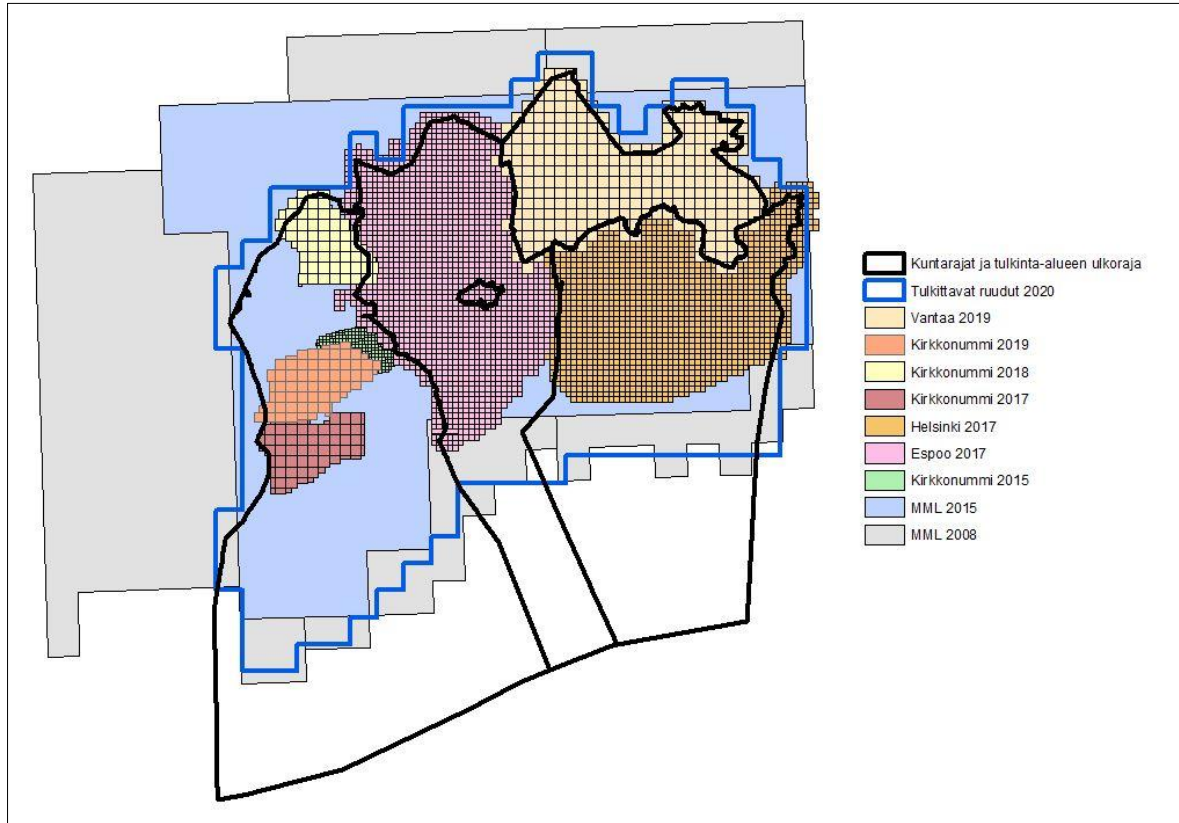
Blom Kartta Oy:n (jatkossa tulkitsija) tehtävänä oli tuottaa Helsingin seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymälle (jatkossa HSY, tilaaja) sekä pääkaupunkiseudun kunnille projektina ilmakeu- ja pistepilvitulkintaan ja muihin lähtöaineistoihin perustuva maa-alueet kattava maanpeitteen kartoitus (jatkossa (seudullinen) maanpeiteaineisto, maanpeiteluokittelu).

Projektialue kattoi koko Vantaan, Helsingin, Kauniaisen, Espoon ja Kirkkonummen kuntien maa-alueet Kuvan 1 kartan mukaisesti. Manneralueiden lisäksi tulkinnassa oli mukana suurimmat saaret tilaajan antaman aluerajauksen mukaisesti. Tulkinta-alueen laajuuden määritteli vuonna 2019 kuvattujen ilmakevien laajuus. Loppukesästä 2019 kuvattu yhtenäinen ilmakeu-aineisto kattoi 311 ilmakeuvaruutua (a 2.5 km x 2.5 km) eli yhteensä 1944 km², mistä tulkittavien kuntien sisäpuolinen alue oli 1708 km². Tästä merialueita oli 525 km² ja manneralueita 1183 km².



Kuva 1. Tulkinta-alue maanpeiteluokittelussa.

Laserkeilausaineistoina käytettiin joko kuntien omia tiheitä laserkeilausaineistoja tai Maanmittauslaitoksen (MML) avointa vuonna 2015 tai 2008 kerättyä harvaa laserkeilausaineistoa Kuvan 2 indeksikartan mukaisesti. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa käytettiin niillä alueilla, missä kuntien oma laserkeilausaineisto oli vanhempaa kuin MML:n laseraineisto, koska laserkeilausaineiston ajantasaisuutta priorisoitiin.



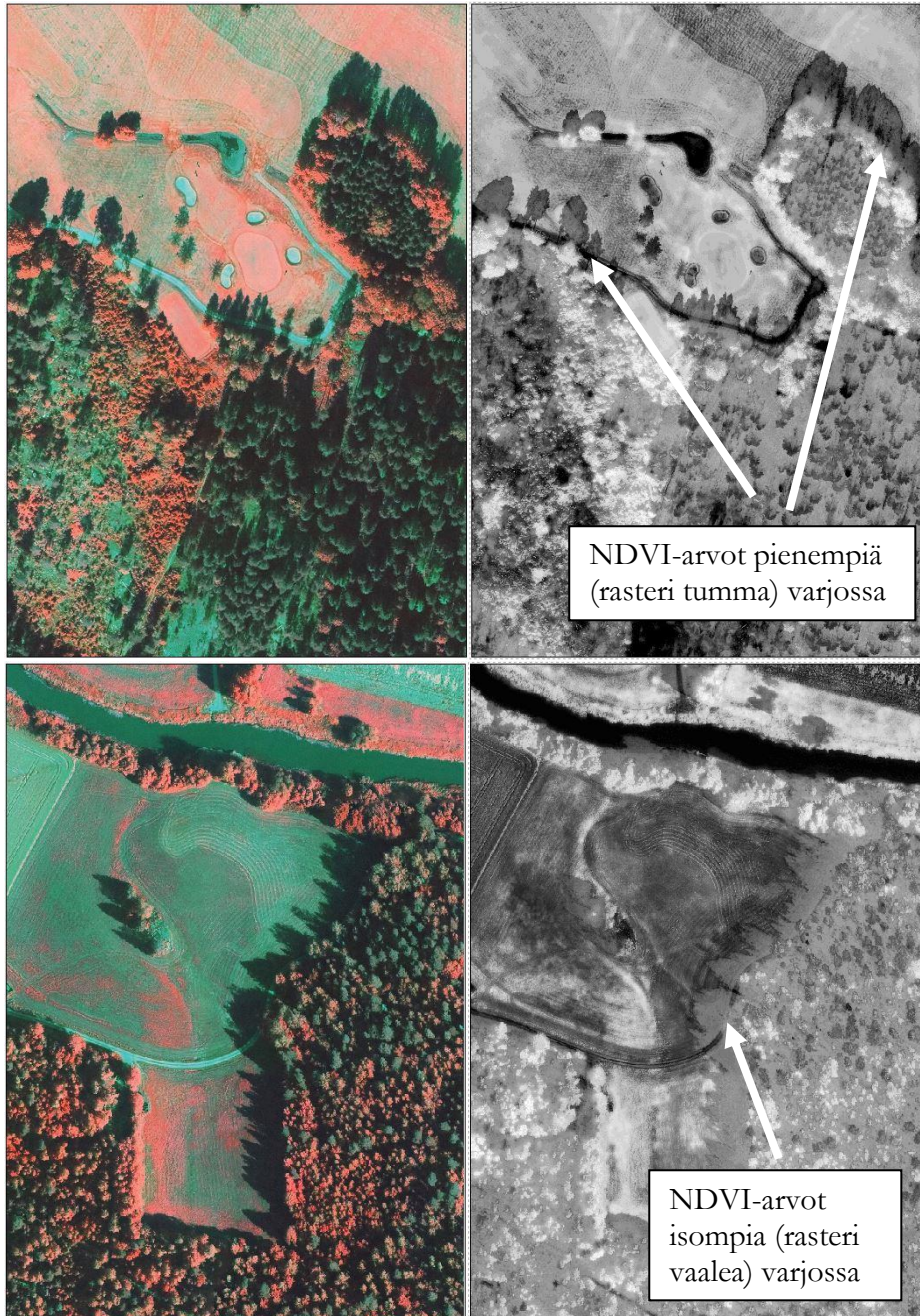
Kuva 2. Käytettyjen laseraineistojen indeksi.

Kuvan 2 kartasta huomataan, että aivan tulkinta-alueen eteläosaan ei ollut saatavilla mitään laserkeilausaineistoa, joten tämä näkyy myös tulkintatuloksessa niiltä osin. Alue on lähinnä merta, mutta alueelle sattuu myös joitakin saaria. Lisäksi laserkeilausaineistosta on huomioitava, että joillakin alueilla Puolustusvoimat rajoittavat laserkeilauspistepilven käyttöä harventamalla tai muuten muokkaamalla rajoitusalueiden pistepilviaineistoa, mikä näiltä osin vaikuttaa maanpeiteluokittelutulokseen.

Tulkinta-alueelta oli käytössä vuonna 2019 kuvatut ortoilmakuvat (resoluutio 0.2 m). Ilmakuvia käytettiin NDVI-rastereiden tuottamiseen, sillä NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ($(NIR - RED) / (NIR + RED)$) kuvaa hyvin kohteesta heijastuneen näkyvän valon ja lähi-infrasäteilyn määrää ja sen avulla pystytään erottelamaan kohteita elollisiin ja elottomiin. NDVI kuvaa vihreän kasvillisuuden määrää ja esimerkiksi nurmikkoalueiden ja lehtimetsän NDVI-heijastusarvo on erittäin suuri, kun taas hiekkakenttien ja paljaan maan lähi-infrapuna-alueen säteilyn heijastus ja siten NDVI-arvo on pieni.

Ilmakuvatulkinnassa NDVI-arvojen suuruuteen vaikuttaa varjot, sillä varjoon jäävien alueiden heijastus on hyvin erilainen kuin samanlaisen kohteen heijastus aurinkoisella alueella (Kuva 3).

Tämä hankaloittaa ja sotkee ilmakuvatulkinnalla tehtäviä kohteiden luokitteluja, sillä mm. varjossa olevat nurmikkokohteet tai niittyjen laidat saattavat luokittua eri luokkaan kuin auringossa olevat kohteet. Käytössä olleista ilmakuvista tehtiin se huomio, että ne oli kuvattu loppukesästä ja kesä oli ollut pääkaupunkiseudulla erittäin kuiva. Tämän vuoksi varjot olivat melko pitkiä ja lisäksi monet nurmikkoalueet olivat kuivahtaneet ja näyttivät ilmakuvilla karulta tai jopa elottomilta.



Kuva 3. Varjojen vaikutus NDVI-arvoon kahdesta eri kohdasta tulkinta-aluetta. Erilaisissa kohteissa varjon vaikutus NDVI-arvoon on erilaista. Ortoilmakuvat vasemmalla ja ortokuvasta lasketut NDVI-rasterit oikealla.

Tulkinnan apuaineistoina käytettiin kuntien tuottamia ja tulkintaan toimittamia paikkatietoaineistoja (tiet, rakennukset, katualueet, viheralueet, vesistöt, pellot, kalliot ja suurjännitelinjat) sekä Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta 8.5.2020 ladattuja kohteita. Lisäksi tieaineistoa täydennettiin osittain Digiroadin tieaineistolla. Maastotietokannasta poimittiin vesialueita, avokallioita ja erilaisia kasvillisuutta kuvaavia kohdeluokkia sekä (taajaan) rakennettuja alueita kuvaavia luokkia. Kunnista saadut aineistot vaihtelivat niin, että osassa kunnista käytettiin pelkästään maastotietokannan kohteita ja osassa kunnista kunnan toimittamia aineistoja täydennettiin maastotietokannan kohteilla. Näistä vektoriaineistoista muodostettiin luokittelun avuksi tiestömaskit (päälystetty ja päälystämätön), rakennus-, avokallio-, viheralue-, vesistö- ja merimaskit sekä pelto- ja niittymaskit ja vettä läpäisemättömiä pintoja kuvaava taajamamaski.

2. LÄHTÖAINEISTOJEN AJANKOHDAN JA TARKKUUKSIEN VAIKUTUS LUOKITTELUTULOKSEEN

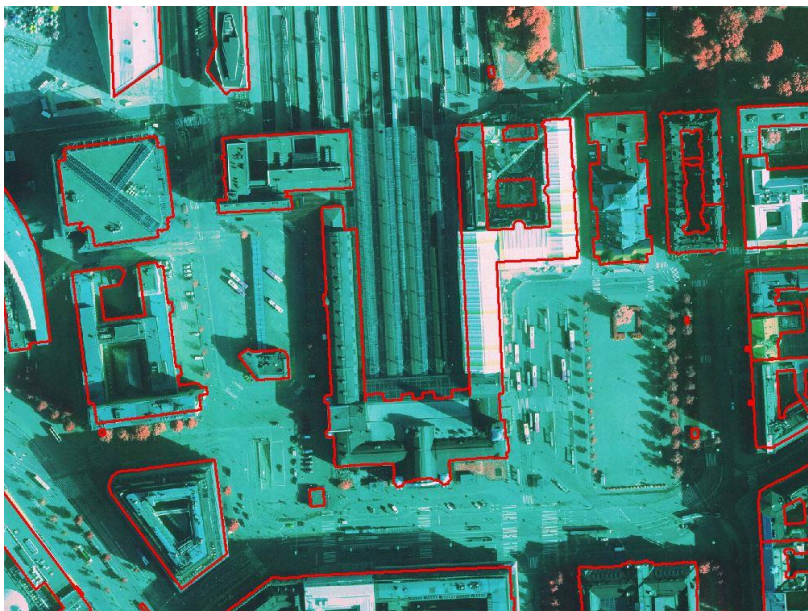
Luokittelun onnistumiseen vaikuttaa lähtöaineistojen ajantasaisuus, tarkkuus ja oikeellisuus. Tässä luokittelussa laserkeilausaineisto oli kerätty vuosina 2015–2019 ja ilmakuvat vuonna 2019. Hyvin pienelle alueelle tulkinta-alueen eteläosassa käytettiin myös vuoden 2008 laseraineistoa. Laser- ja ilmakuva-aineistojen välillä on suurella osalla tulkinta-aluetta vähintään yhden vuoden aikaero aineistokeräyksestä, sillä ainoastaan Vantaalla ja pienellä osalla Kirkkonummen aluetta myös laseraineisto oli vuodelta 2019, jolloin ilmakuvat on kuvattu. Aineistojen eriaikaisuus ja vanhuus aiheuttaa sitä, että kaukokartoitusaineistojen hankinnan välissä ja jälkeen on voinut tapahtua muutoksia ja sama kohde näyttää erilaiselta laser- ja ilmakuva-aineistoilla. Muun muassa kasvillisuus on kasvanut tai yksittäisiä puita tai puuryhmiä tai isompia metsiköitä on voitu poistaa tai raivata esimerkiksi rakentamisen tieltä. Jotkin pensaat tai pienet puut voivat olla vanhemmalla laseraineistolla hyvin pieniä tai olemattomia, mutta ilmakuva-aineistolta ne voidaan nähdä. Nämä muutokset pituudessa vaikuttavat mm. kasvillisuuden korkeusluokitteluun.

Ilmakuvia käytettiin luokittelussa määrittämään kohteesta heijastuneen säteilyn määrää ja siten luokittelemaan kohteita elottomiin ja elollisiin kohteisiin. Tässä analyysissä käytettiin apuna ilmakuvan kanavasuhteista laskettua NDVI-arvoa. Mm. rakennusten ja puiden varjot ilmakuvilla haittaavat kuitenkin sävyarvojen perusteella tehtyä luokittelua, joten esimerkiksi varjossa olevat nurmikkokohteet saattavat luokittua eri luokkaan kuin auringossa olevat nurmikkoalueet. Lisäksi metsässä suurten puiden aiheuttamat varjot metsikön sisällä pienempien puiden päälle johtavat siihen, että tiheäänkin metsään voi tulla NDVI-arvoltaan pieniä eli elottomalta näyttäviä alueita. Lisäksi ilmakuvien säteissiihtymän vuoksi korkeat kohteet, kuten puiden latvat, korkeat kerrostalot tai vesitornit, saattavat ilmakuvalla näyttää olevan eri kohdassa kuin ne todellisuudessa ovat (Kuva 4).



Kuva 4. Ortoilmakuvien säteissiirtymästä johtuva korkeiden rakennusten sijainnin siirtymä ilmakuvalla rakennuspolygoniin (punainen viiva) nähden.

Luokittelun apuaineistoina käytettyjen vektoriaineistojen tarkkuudella ja paikkansapitävyydellä on suuri vaikutus luokitustulokseen. Rakennuspolygonista esimerkiksi puuttui joitakin rakennuksia tai rakennusten osia (Kuva 5). Ennen prosessin aloittamista havaituista maskien virheistä ja puutteista keskusteltiin tilaajan kanssa ja niitä pyrittiin korjaamaan ja täydentämään mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi Helsingin kunnan tieaineistoa täydennettiin manuaalisesti Digiroadin tieaineistolla ja muutamia päällysteluokkia muutettiin toiseksi havaittujen virheiden vuoksi.



Kuva 5. Esimerkki Helsingin päärautatieaseman kohdasta, missä katettu osa rautatieaseman rakennuksesta puuttuu rakennusvektorista.

3. LUOKITTELUN TOTEUTUS

Maanpeiteluokittelu aloitettiin jakamalla tulkittava alue pieniin yksiköihin, ns. prosessointiyksiköihin, sillä ilmakehävauriokokoinen jaottelu olisi ollut liian raskas segmentointiohjelmistolle ja geometriakäsittelyihin. Segmentointiprosessia varten ilmakehävauriokokoinen jaottelu prosessoitiin ja niistä tuotettiin segmentointirasterit prosessointiyksiköille. Segmentoinnissa käytettiin kasvillisuuden pintamallia ja NDVI-rasteria.

Prosessin aluksi alueelle tehtiin pienipiirteinen automaattikuviointi eli segmentointi käyttäen ensisijaisena segmentointirasterina NDVI-rasteria. Kasvillisuuden pintamallia käytettiin segmentoinnissa pienemmällä painolla. Tuotetuille segmenteille laskettiin keskikorkeus- ja NDVI-arvot segmentointirastereilta. Lisäksi segmenteille tuotettiin segmentointivaiheessa myös raaka luokittelutieto luokkiin paljas maa tai muu vettä läpäisemätön pinta. Tämä luokittelu tehtiin siten, että ensin valittiin asiakkaan toimittamasta referenssiaineistosta luokittelun opetusaineistoksi pieni alue, jossa oli paljon referenssipisteitä luokissa paljas maa tai muu vettä läpäisemätön pinta. Sen jälkeen tästä pienen alueen esimerkkiaineistosta muodostettiin luokittelun opetusaineisto ja tätä opetusaineistoa käytettiin lopullisille segmenteille luokitustietoja tuottaessa. Luokitustieto tuotettiin Support Vector Machine (SVM)-menetelmällä segmentoinnin lopuksi. Rasteriarvoja ja luokitustietoa käytettiin luokitteluprosessin eri vaiheissa kohteiden jaotellussa eri maanpeiteluokkiin.

Tässä projektissa SVM:n tuottamia luokkia ei hyödynnetty lopullisessa maanpeiteluokittelussa vaan ainoastaan ns. segmenttitoimituksessa, jossa segmentit luokiteltiin rakennettuun ympäristöön ja viheralueluokkiin ilman apuaineistoilla käsittelyä. Segmenttitoimituksessa kaikki yli 2 metriset kohteet luokiteltiin kohteiden pituuden mukaisiin puustoluokkiin. Alle 2 metrisistä kohteista NDVI-arvoltaan korkeat eli elolliset kohteet luokiteltiin muuksi avoimeksi matalaksi kasvillisuudeksi, ja NDVI-arvoltaan pienet eli elottomat kohteet luokiteltiin SVM:n tuottamien luokkien perusteella joko paljaaksi maaksi tai muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi.

NDVI-raja-arvo, joka määrittää kohteet joko NDVI-arvoltaan pieniin (elottomiin) tai suuriin (elollisiin) kohteisiin, haettiin tarkastelemalla eri puolilta projektialuetta erilaisten kohteiden NDVI-arvoja ja hakemalla siten sopiva NDVI-raja-arvo kohteiden erotteluun. Yksilölliset erot samaan luokkaan kuuluvien kohteiden heijastuksissa johtavat kuitenkin siihen, että kohteet, joissa NDVI-arvo on lähellä raja-arvoa, voi paikoitellen luokittua eri luokkaan. Lisäksi erilaiset valaistusolosuhteet johtavat heijastusten erilaisuuteen, minkä vuoksi varjossa olevat kohteet saavat hyvin erilaisia NDVI-arvoja kuin valoisassa olevat kohteet.

Varsinaisessa apuaineistosta hyödyntävässä maanpeiteluokittelussa apuaineistot olivat vain tukemassa tulkintaa ja ainoastaan rakennusten ja teiden sekä vesi- ja merialueiden kohdalla apuaineistot esittävät sellaisenaan tulkinnan lopputulosta. Kohteita luokiteltiin eri luokkiin korkeus- ja NDVI-arvojen perusteella sekä tarkastelemalla, osuuko segmentit käytettyjen maskien alueelle. Alla on listaus eri maanpeiteluokista ja niiden tuottamisperiaatteista pääluokittain:

1. Vettä läpäisemätön pinta

Tiet ja kadut luokiteltiin maskien avulla päällystetyiksi tai päällystämättömiksi teiksi ko. maskien kattamilta alueilta.

Rakennusten luokittelussa käytettiin kunnilta saatuja rakennuspolygoneja. Kaikki rakennuspolygonien alueet luokiteltiin rakennus -luokkaan.

Luokka ”muu vettä läpäisemätön pinta” tuotettiin ilmakuvien ja laseraineiston avulla käyttämällä hyödyksi kohteiden NDVI-arvoa ja vettä läpäisemätöntä pintaa kuvaavaa ”taajamamaskia”. Maskin kattamat alueet, missä NDVI-arvo oli pieni, luokiteltiin muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi, mikäli kohde ei ollut pelto-, niitty-, avokallio- tai viheraluemaskien alueella.

2. Viherpinta

Viherpinta tuotettiin ilmakuvien ja laserkeilausaineiston avulla. Pelloiksi luokiteltiin kaikki pituudeltaan alle 2 metriset kohteet, joista vähintään 90 % osui peltomaskin alueelle. Muuksi avoimeksi kasvillisuudeksi luokiteltiin kaikki NDVI-arvoltaan suuret ja pituudeltaan matalat kohteet, jotka eivät olleet peltoa, tai missä NDVI-arvo oli pieni, mutta kohde oli niittymaskin alueella vähintään 90 % pinta-alasta.

Kohteita luokiteltiin puuston eri pituusluokkiin laserkorkeuden perusteella. Puustoluokkiin luokiteltiin kaikki NDVI-arvoltaan suuret yli 2 metriset kohteet ja ne yli 2 metriset kohteet, jotka olivat viheraluemaskin alueella.

3. Avokallio

Avokallioiksi luokiteltiin kaikki NDVI-arvoltaan matalat kohteet, jotka eivät olleet pelto- tai niittymaskien alueella ja jotka olivat avokalliomaskin alueella.

4. Paljas maa

Luokkaan paljas maa luokiteltiin ne NDVI-arvoltaan matalat kohteet, jotka eivät olleet peltoa, muuta avointa matalaa kasvillisuutta, avokalliota, puustoa tai muuta vettä läpäisemätöntä pintaa.

5. Vesialueet

Kaikki vesialuemaskien alueet luokiteltiin vesiksi ja merimaskin alueet meriksi.

Kuvassa 6 on listattu maanpeiteluokittelun tuloluokat luokkakoodineen ja väreineen.

Koodi	Väri	Kuvaus
111		Päällystetty tie
112		Päällystämätön tie
121		Rakennus
130		Muu vettä läpäisemätön pinta
211		Pellot
212		Muu avoin matala kasvillisuus
221		Puusto 2-10 m
222		Puusto 10-15 m
223		Puusto 15-20 m
224		Puusto >20 m
310		Avokalliot
410		Paljas maa
510		Vesi
520		Merialue

Kuva 6. Maanpeiteluokittelun luokat, koodiarvot ja värit.

Luokitteluprosessin lopuksi korjattiin suurjännitelinjojen (bufferoitu 10 metrillä) alle jääviä korkeaksi kasvillisuudeksi luokittuneita kohteita muu avoin matala kasvillisuus -luokkaan. Tällä saatiin korjattua oikeammaksi niitä kohtia, missä sähkölinjojen johdoista on tullut laserpistepilveen korkeita havaintoja ja siten kasvillisuuden pintamallilla näkyy korkeita pikseliarvoja. Viheralueista tehtiin lopullisen maskeja hyödyntäneen maanpeiteluokittelun lisäksi erillinen ns. viherpintatoimitus, jossa kohteita ei ollut leikattu millään apuaineistoilla. Viherpintatoimituksessa minimipinta-alasääntönä oli 10 m². Tätä pienemmille kohdeluokille tehtiin geometrioiden sipistelyä yhdistelemällä pieniä kohteita naapuruston viheraluekohteisiin.

Kaikki maanpeiteluokat kattavassa maanpeiteluokittelussa minimipinta-alana oli 25 m² ja tätä pienemmät kohteet yhdistettiin naapuriluokkiin, mikäli naapurustossa oli sellaisia luokkia, joihin pienet alueet oli sallittua yhdistää (ei rakennuksiin, teihin eikä vesialueisiin). Erityisesti kapeisiin alueisiin tievektoreiden välissä tai tien ja rakennuksen välissä on voinut jäädä pieniä esimerkiksi muun vettä läpäisemättömän pinnan luokan paloja, koska sopivaa naapuria yhdistämiseen ei ole löytynyt. Lisäksi alle 25 m² paloja on vektoriaineistossa kuntarajoilla kuntarajalla leikkauksen vuoksi.

Geometriakäsittelyjen jälkeen jäljelle jääneitä segmenttejä pyöristettiin (smoothattiin) hieman, jotta geometrioiden alun perin sahalaitaisia reunoja saatiin muokattua visuaalisesti nättimiksi. Smoothauksen seurauksena segmenttien pinta-alat hieman muuttuvat, joten jotkin alun perin nipin napin 10 m² tai 25 m² palat ovat voineet pudota hieman tuon pinta-alarajan alle. Näitä segmenttejä ei enää sulautettu smoothauksen jälkeen viereisiin segmentteihin toistamiseen, vaan ne jätettiin aineistoon sellaisiksi. Smoothaus kasvattaa aina tiedostokokoa, koska taitepisteiden (vertex) määrä vektoriaineistossa kasvaa. Koska tässä projektissa segmenttien koko oli hyvin pieni ja tiedostokoot jo ilman smoothausta suuria, oli aineistojen käytettävyyden kannalta mielekästä pitää tiedostokoot niin pieninä kuin mahdollista. Sen vuoksi smoothauksessa käytettiin sellaista parametrisointia, että taitepisteiden määrä pysyi maltillisena eikä tiedostokoot suotta kasvaneet liikaa.

4. LUOKITTELUTULOKSEN VALIDOINTI JA ARVIOINTI

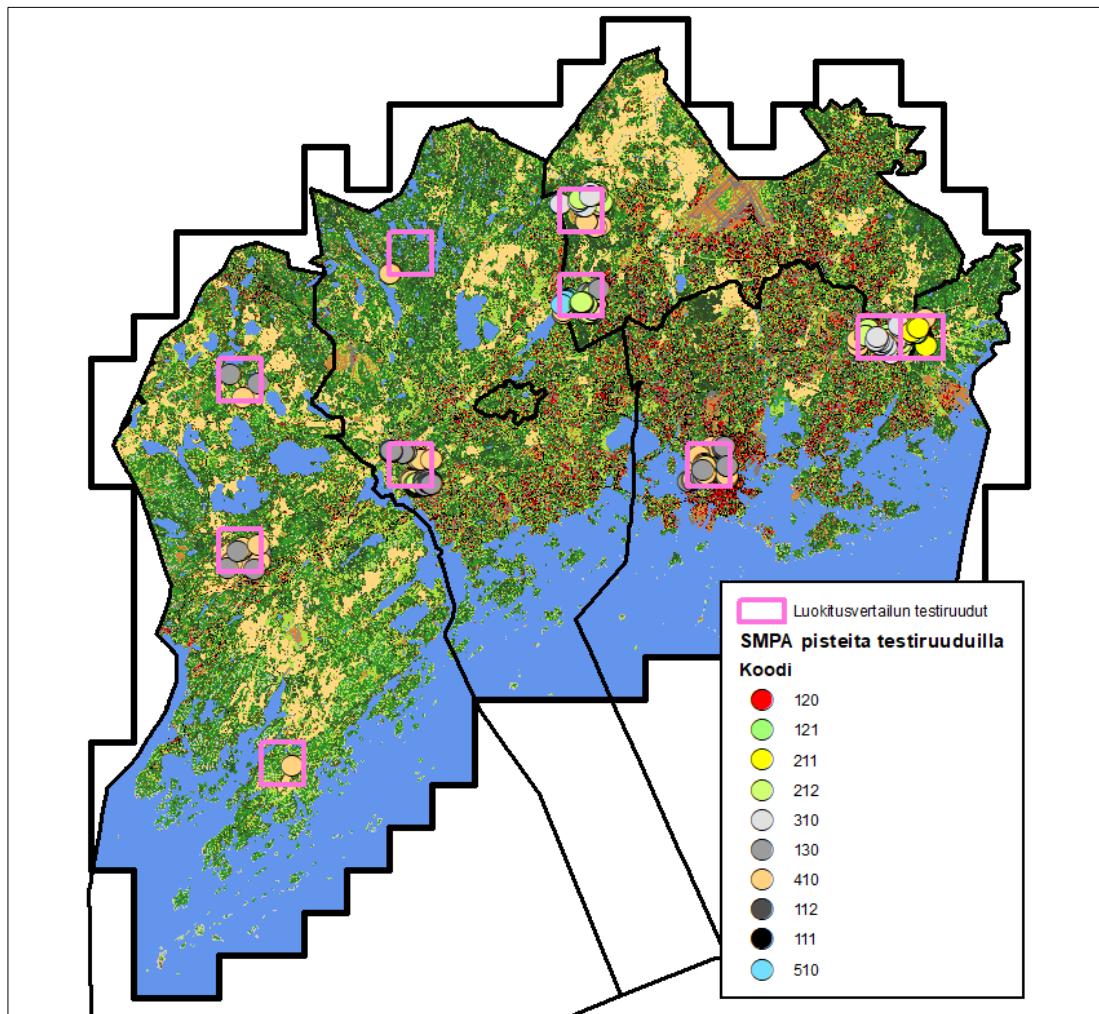
Luokittelutulosta validoitiin tarkastelemalla visuaalisesti luokittelun onnistumista ilmakuvien ja laseraineiston avulla eri puolilta projektialuetta. Lisäksi käytettiin Google Street View-näkymän kuvia muutamissa kohteissa luokittelun tarkastamiseen. Jo segmentointiprosessin alkuvaiheessa, kun etsittiin sopivaa NDVI-arvoa luokkien jaotteluun, tehtiin valituilla parametreilla koko luokitteluprosessin läpivienti ja katsottiin, että luokittelu toimii odotetulla tavalla. NDVI-raja-arvoa etsittäessä todettiin, että selkeän raja-arvon määrittäminen on hankalaa ja raja-arvon lähellä tapahtuu kohteiden sekoittumista puolin ja toisin ja toisaalta erilaisen valaistusolosuhteet sekoittavat luokittelua.

Maanpeiteluokittelun lopputulosta validoitiin kolmella eri referenssipisteaineistolla:

- 1) koko tulkinta-alueen SMPA-referenssipisteillä, jotka tilaaja oli toimittanut ja joita käytettiin validointiaineistona vuonna 2018,
- 2) kymmenelle testiruudulle osuvilla SMPA-pisteillä, joissa eri luokkien havaintoja oli tasaisemmin kuin alkuperäisessä aineistossa, ja
- 3) kymmenelle testiruudulle generoidulla systemaattisella referenssipisteistöllä.

Näistä pääpaino validoinnissa oli systemaattisesti generoiduilla pistejoukolla (Kohta 3), sillä SMPA-pisteitä ei alun perinkään ollut tarkoitettu validointiin, vaan pisteiden luokat painottuivat vahvasti luokkiin paljas maa ja muu vettä läpäisemätön pinta, joiden opetusaineistoksi pisteet oli kerätty. Lisäksi aiempien vuosien hankkeissa oli huomattu näiden pisteiden kohdalla muutoksia ympäristössä tai havaittu erilaisia ristiriitaisuuksia referenssipisteiden luokituksissa. Kohtien 1 ja 2 ristiintaulukoinnit esitetään tässä raportissa lyhyesti kuitenkin siitä syystä, että SMPA-pisteitäkin voidaan joka tapauksessa pitää suuntaa antavina ja toisaalta niitä käytettiin pääasiallisena validointiaineistona vuonna 2018.

Luokittelun validoimiseksi testiruuduilta (Kohdat 2 ja 3) valittiin 10 kpl ilmakuvavuorokauden eri puolilta tulkinta-aluetta eri kunnista ja toisaalta niin, että ruuduille osui paljon eri luokkien SMPA-referenssipisteitä (Kuva 7).



Kuva 7. Tulosten validoinnin testiruudut ja niille osuvat tilaajan toimittamat referenssipisteet.

Taulukossa 1 on esitetty luokitustarkkuudet, kun verrattiin maanpeiteluokittelun tuloksia SMPA-referenssipisteiden kohdeluokkiin (Kohdat 1 ja 2). Kaikkiaan tulkinta-alueelta oli käytettävissä 3623 kpl pistettä ja näistä 355 kpl osui kymmenen testiruudun alueelle. Taulukossa on esitetty luokitustarkkuudet koko pistejoukolle ja karsitulle pistejoukolle, josta on poistettu ne pisteet, jotka olivat joko referenssissä tai tulkinnassa tietä, rakennusta tai merta. Näihin maskiluokkiin kuulumattomia pisteitä oli koko alueella 3099 kpl ja testiruuduilla 300 kpl. Kuvassa 8 on esitetty näiden vertailujen ristiintaulukoinnit. Testiruutujen 300:sta SMPA-pisteestä noin kolmannes oli paljasta maata, kolmannes muuta vettä läpäisemätöntä pintaa ja loppu kolmannes muita luokkia. Testiruutujen aineisto oli siis huomattavasti tasapainottuneempi eri luokkiin kuin alkuperäinen pisteaineisto koko tulkinta-alueelta. Toki esimerkiksi puustoluokkia SMPA-pisteistössä ei ollut yhtään. Näitä tuloksia ei analysoida tässä tarkemmin eikä esimerkiksi tarkisteta referenssipisteiden luokitusten oikeellisuuksia tai esimerkiksi sitä, mikä osa pisteistä sijoittuu erittäin lähelle kahden eri luokan rajaa.

Taulukko 1. Maanpeiteluokittelun validointituloksia SMPA-referenssiaineistoissa.

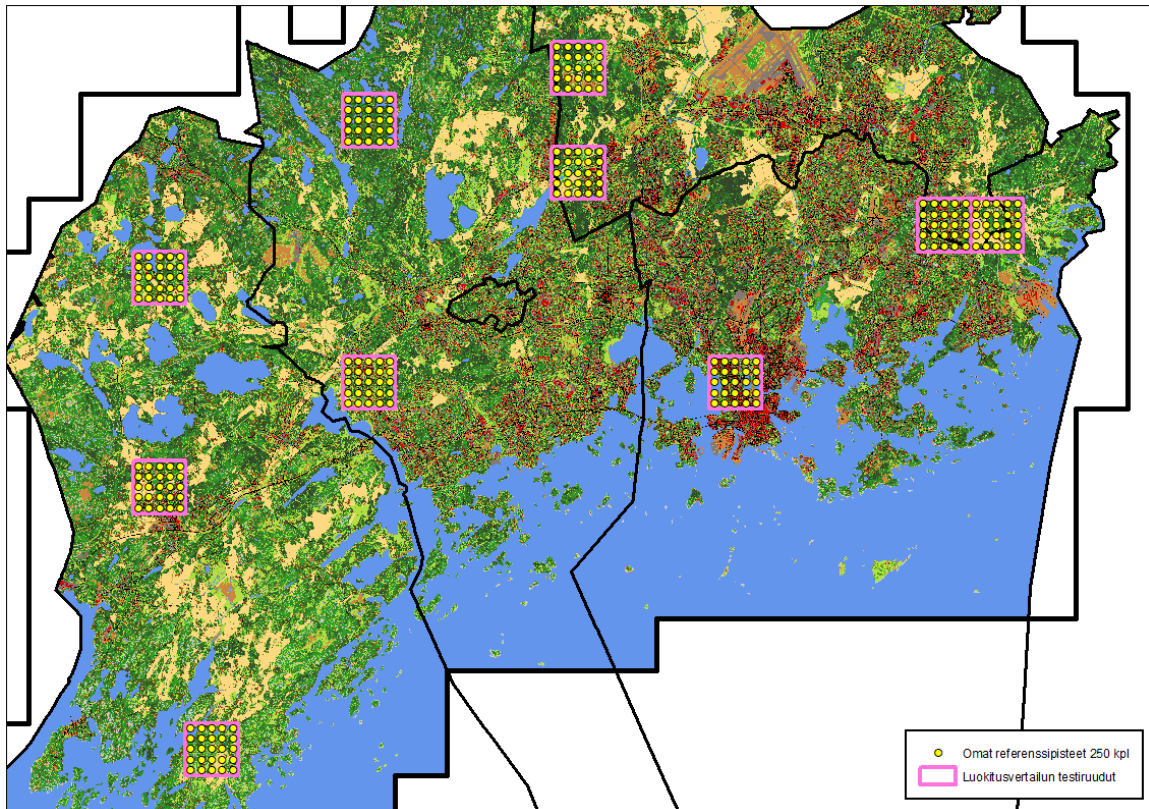
	lkm	oikein	väärin	osumisprosentti
Kaikki SMPA pisteet tulkinta-alueella	3623	2147	1476	59.3%
Kaikki SMPA pisteet tulkinta-alueella, ei maskiluokkia (111/112/121/520)	3099	2132	967	68.8%
SMPA pisteet testiruuduilla	355	250	105	70.4%
SMPA pisteet testiruuduilla, ei maskiluokkia (111/112/121/520)	300	247	53	82.3%

		Luokitustulos											
		130	211	212	221	222	223	224	310	410	510		
Referenssi	130	583		42	2		1		1	230		859	68%
	211		9									9	100%
	212	9	9	280	3					36		337	83%
	221											0	
	222											0	
	223											0	
	224											0	
	310	6		9	2				151	23	2	193	78%
	410	272	16	268	4	3	5		14	1079	1	1662	65%
	510	3		2						4	30	39	77%
		873	34	601	11	3	6	0	166	1372	33	3099	
		67%	26%	47%	0%	0%	0%		91%	79%	91%	68.8%	

		Luokitustulos											
		130	211	212	221	222	223	224	310	410	510		
Referenssi	130	82		2						16		100	82%
	211		4									4	100%
	212	1		54						4		59	92%
	221											0	
	222											0	
	223											0	
	224											0	
	310	1		1					29	1		32	91%
	410	15	1	5	1	4			68			94	72%
	510								1	10		11	91%
		99	5	62	1	0	4	0	29	90	10	300	
		83%	80%	87%	0%	0%	0%		100%	76%	100%	82.3%	

Kuva 8. Ristiintaulukoinnit SMPA-pisteille, jotka eivät osu maskiluokkiin. Vasemmalla koko tulkinta-alueen pisteet ja oikealla testiruutujen alueelle osuvat pisteet.

Varsinainen tulosten validointi tehtiin tässä projektissa generoimalla kymmenelle testiruudulle systemaattinen 500 metrin tasavälinen referenssipisteistö siten, että jokaisen testiruudun sisällä oli 25 kpl pisteitä (Kuvat 9 ja 10). Näille 250 referenssipisteelle haettiin ns. oikeat referenssiluokat ilmakuvia, laseraineistoa tai StreetView -kuvia apuna käyttäen luokittelemalla pisteet visuaalisesti eri maanpeiteluokkiin. Koska merialueita ei haluttu huomioitavan luokitusvertailuissa, poistettiin kolme merialueille osuvaa pistettä validoinneista ja jäljelle jäi 247 referenssipistettä.



Kuva 9. Tulosten validoinnin testiruudut ja niille generoidut systemaattiset referenssipisteistöt.

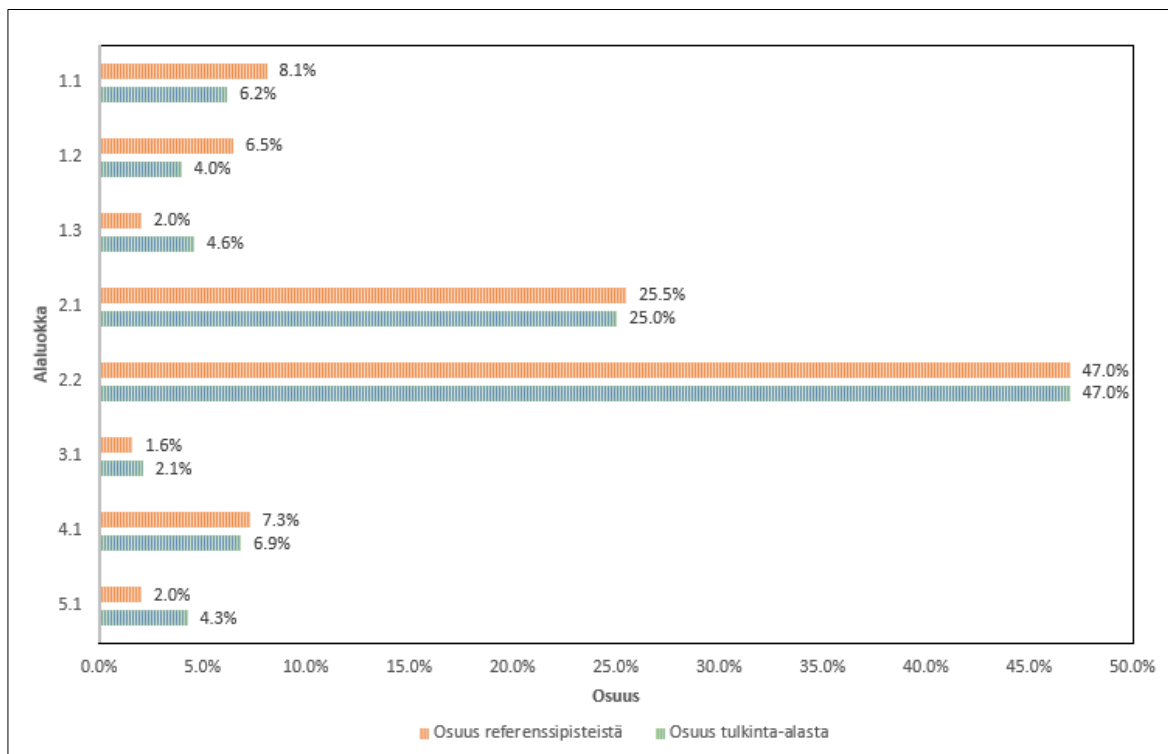


Kuva 10. Yhden testiruudun sisään generoitu 500 metrin tasavälinen referenssipisteistö.

Taulukossa 2 on esitetty maanpeiteluokittelun pinta-alat alaluokittain koko alueen maanpeiteluokittelussa ja laskettu eri alaluokkien suhteelliset osuudet. Taulukon alaosassa on vastaava jakauma 247 systemaattisesti generoiduille referenssipisteille. Kuva 11 havainnollistaa Taulukon 2 arvoja. Voidaan todeta, että referenssipisteaineistossa eri alaluokkien suhteelliset osuudet ovat erittäin lähellä maanpeiteluokittelun pinta-alaosuuksia. Lähes puolet referenssipisteistä samoin kuin tulkintatuloksesta on puustoa ja neljännes matalaa kasvillisuutta.

Taulukko 2. Eri alaluokkien pinta-alaosuudet maanpeiteluokittelun tulosaaineistossa ja testiruuduille generoidussa referenssipisteistössä.

	Alaluokka, pinta-ala ha								
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1	4.1	5.1	
Espoo	1486	1201	1463	7608	16713	486	2107	1912	
Vantaa	1761	1235	1549	6978	9976	141	2192	205	
Helsinki	2259	1851	2086	3741	9162	422	1832	154	
Kauniainen	37	49	52	129	297	3	21	11	
Kirkkonummi	1774	372	294	11166	19430	1428	1965	2769	
Yhteensä	7317	4708	5445	29622	55577	2481	8117	5051	118318 ha
Osuus tulkinta-alasta	6.2%	4.0%	4.6%	25.0%	47.0%	2.1%	6.9%	4.3%	
Lkm referenssipisteistä	20	16	5	63	116	4	18	5	247 kpl
Osuus referenssipisteistä	8.1%	6.5%	2.0%	25.5%	47.0%	1.6%	7.3%	2.0%	



Kuva 11. Eri alaluokkien osuus maanpeiteluokittelutuloksessa ja validoinnin referenssiaineistossa.

Referenssiaineiston pisteistä 10 kpl oli sellaisia, joiden luokituksen havaittiin olevan eri viherpinnassa kuin maanpeiteluokittelussa. Nämä olivat siis sellaisia kohteita, joissa luokitus oli muuttunut pinta-alasäännön takia eli kohde oli yhdistetty naapuriluokkaan, koska se oli alle 25 m² kokoinen. Viherpinnassa pinta-alarajana oli 10 m², joten siinä näkyy myös pienipiirteisemmät kohteet. Sellaisia referenssipisteitä, jotka eivät olleet merta ja joiden luokka ei ollut muuttunut pinta-alasäännön takia, oli siis 237 kpl. Lisäksi tälle pisteluokalle tehtiin tarkistus, mitkä referenssipisteet olivat alle pikselikoon (0.5 m) etäisyyden päässä toisen luokan rajasta. Näiden pisteiden luokitusta pidettiin epävarmempina mm. vektoriaineistojen rasteroinnin epätarkkuuden vuoksi (pikselille arvo keskipisteen mukaan, lähtöaineiston tarkkuus 0.2 m, mutta lopputuotteeseen rasterointi karkeampaan resoluutioon) ja esimerkiksi sen takia, että metsän rajalla tai metsässä eri puustoluokkien rajalla on monesti tulkinnanvaraista, mihin eri pituusluokkien raja laitetaan. Segmenttien rajan paikan määräytyminen riippuu segmentointialgoritmista. Lopulta referenssipisteistä 184 kpl oli sellaisia, mitkä täyttivät kaikki edellä mainitut ehdot (ei merta, ei luokamuutosta ja ei luokkarajalla). Taulukossa 3 on oikeinluokitusprosentit näin generoiduille pistejoukoille ja vastaavien referenssipistejoukkojen ristiintaulukoinnit on esitetty kuvissa 12–14.

Taulukko 3. Maanpeiteluokittelun validointituloksia systemaattisesti generoidussa referenssipisteaineistossa.

	lkm	oikein	väärin	osumisprosentti
Omia referenssipisteitä kaikkiaan	250			
Omista referenssipisteistä ei merta	247	201	46	81.4%
Luokka ei muuttunut pinta-alasäännön takia (eikä kohde merta)	237	197	40	83.1%
- näistä piste väh 0.5 m päässä luokkarajasta	184	161	23	87.5%

		Luokitustulos														
		111	112	121	130	211	212	221	222	223	224	310	410	510		
Referenssi	111	14											1		15	93%
	112		3					1					1		5	60%
	121			14				1					1		16	88%
	130				4								1		5	80%
	211					17	2								19	89%
	212		2		1		33	1	2	1	1		2	1	44	75%
	221				1		1	31		1	1				35	89%
	222								11	2					13	85%
	223								5	24	1		1		31	77%
	224									4	33				37	89%
	310						1					3			4	75%
	410						6	1	1				9	1	18	50%
510													5	5	100%	
		14	5	14	6	17	43	35	19	32	36	3	16	7	247	
		100%	60%	100%	67%	100%	77%	89%	58%	75%	92%	100%	56%	71%		81.4%

Kuva 12. Ristiintaulukoinnit generoiduille referenssipisteille, jotka ei merta (247 kpl).

		Luokitustulos														
		111	112	121	130	211	212	221	222	223	224	310	410	510		
Referenssi	111	14											1		15	93%
	112		3					1					1		5	60%
	121			14		1							1		16	88%
	130				4								1		5	80%
	211					17	2								19	89%
	212		2		1		32	1	1				2	1	40	80%
	221				1		1	30							32	94%
	222								10	2					12	83%
	223								5	24	1		1		31	77%
	224									4	32				36	89%
	310						1					3			4	75%
	410						6	1					9	1	17	53%
	510													5	5	100%
		14	5	14	6	18	42	33	16	30	33	3	16	7	237	
		100%	60%	100%	67%	94%	76%	91%	63%	80%	97%	100%	56%	71%		<u>83.1%</u>

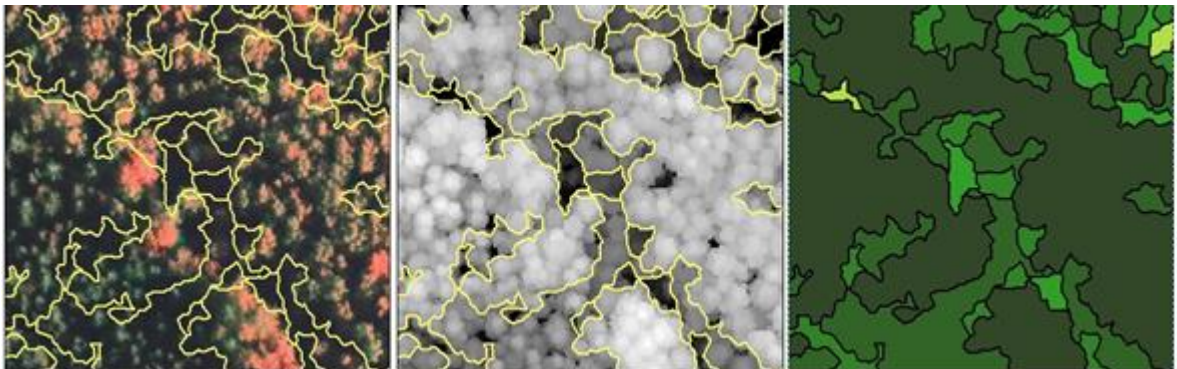
Kuva 13. Ristiintaulukoinnit generoiduille referenssipisteille, jotka ei merta ja joiden luokka ei muuttunut pinta-alasäännön takia (237 kpl).

		Luokitustulos														
		111	112	121	130	211	212	221	222	223	224	310	410	510		
Referenssi	111	11											1		12	92%
	112		3										1		4	75%
	121			12									1		13	92%
	130				3								1		4	75%
	211					17	2								19	89%
	212				1		27						2		30	90%
	221							20							20	100%
	222								8	2					10	80%
	223								5	18					23	78%
	224									2	26				28	93%
	310											3			3	100%
	410						4	1					8		13	62%
	510													5	5	100%
		11	3	12	4	17	33	21	13	22	26	3	14	5	184	
		100%	100%	100%	75%	100%	82%	95%	62%	82%	100%	100%	57%	100%		<u>87.5%</u>

Kuva 14. Ristiintaulukoinnit generoiduille referenssipisteille, jotka ei merta ja joiden luokka ei muuttunut pinta-alasäännön takia ja jotka vähintään 0.5 metrin päässä luokkarajasta (184 kpl).

Ristiintaulukoinneista ja oikeinluokitusprosentista (Kuvat 12–14) voidaan todeta, että luokittelun tulos näyttää referenssiaineiston perusteella hyvältä. Muutama maskien alle jäänyt referenssipiste olisi visuaalisen arvion mukaan pitänyt olla muuta luokkaa, mutta koska tie-, rakennus- ja vesialueet luokiteltiin suoraan apuaineistojen avulla, voidaan näissä luokissa luokitustuloksia pitää oikeina. Myös peltomaskilla oli vahva ohjaavuus luokittelussa, sillä pelloiksi luokiteltiin kaikki matalat segmentit, joiden pinta-alasta vähintään 90 % osui peltomaskin alueelle. Myös avokalliomaski ohjasi luokittelua melko vahvasti, koska mitään maskin ulkopuoleisia alueita ei luokiteltu avokallioiksi. Ristiintaulukoinneista voidaan todeta, että sekä peltojen että avokallioiden luokittelu onnistui hyvin.

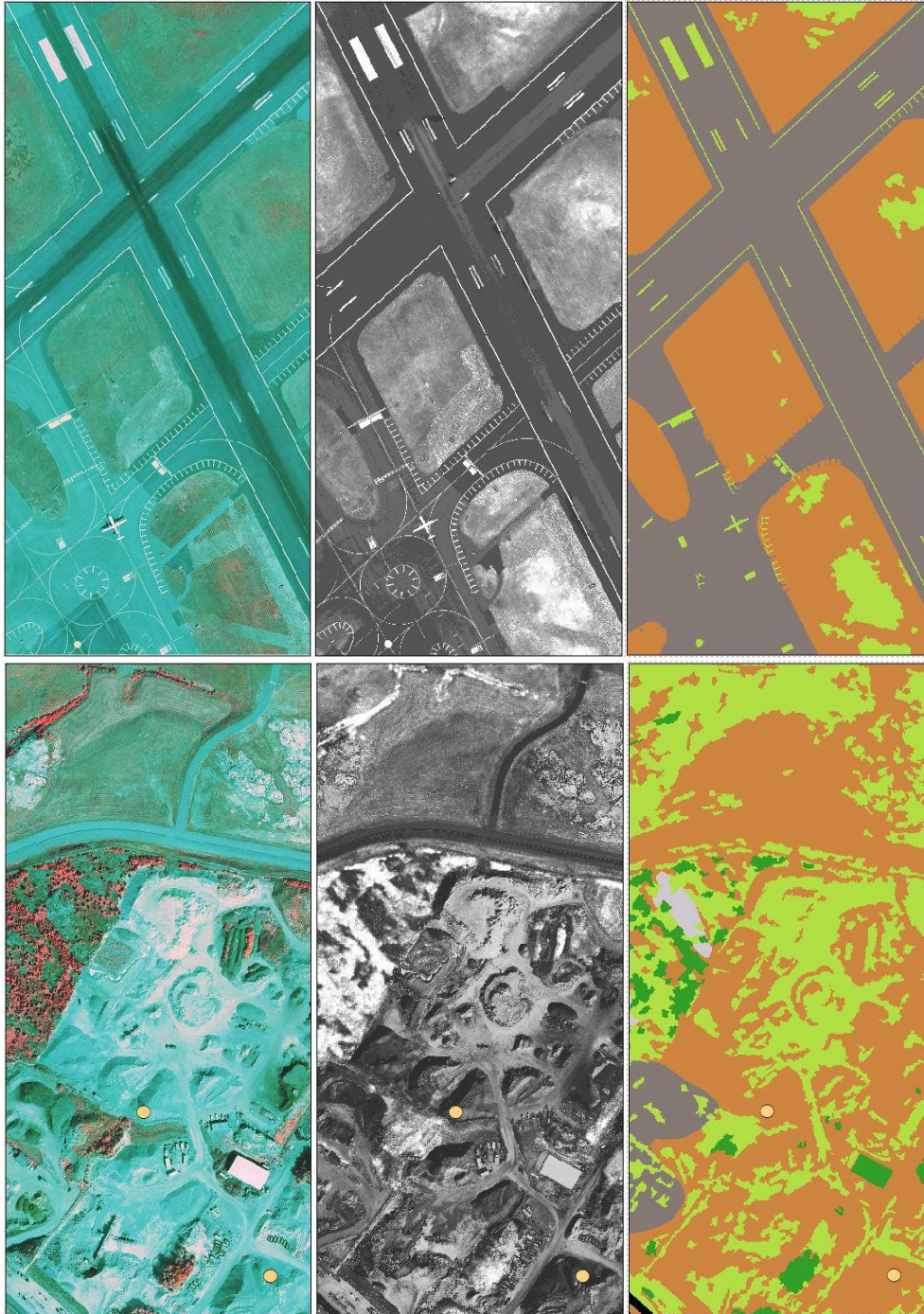
Puustoluokissa on pientä heiluntaa eri pituusluokkien välillä, mutta tämä on luonnollista ja riippuu mm. siitä, mihin segmentin kohtaan referenssipiste on sattunut sekä siitä, miten metsän segmentoinnissa segmentin ja luokan raja on muotoutunut. Segmentin pituusluokka on määritetty segmentin keskikorkeuden perusteella, mutta referenssipiste on voinut sattua keskimääräistä korkeampaan tai matalampaan kohtaan segmentin sisällä ja siten metsäisissä kohteissa tulee herkästi heiluntaa pituusluokkien välillä (ks. Kuva 15). Myös määrittelystä minimipinta-alasta johtuva pienten luokkien yhdistäminen naapureihin muokkaa pienipiirteisten kohteiden luokittelua metsäalueilla. Laserkeilausaineiston ajantasaisuus projektialueella oli suhteellisen hyvä ja aineisto on tarkkaa pituuden määrittelyyn, joten puustoalueiden luokittelutarkkuuden pitäisi olla hyvällä tasolla.



Kuva 15. Eri puustoluokkia metsäalueella ortokuvan, kasvillisuuden pintamallin ja maanpeiteluokittelun päällä.

Ilmakuvatulkinnan haasteena on perinteisesti ollut paljaan maan ja muun vettä läpäisemättömän pinnan erottaminen ja toisaalta myös paljaan maan ja muun avoimen matalan kasvillisuuden erottaminen toisistaan. Hyvälaatuisilla ilmakuvilla, joissa nurmikot ovat vehreitä, nurmikoita pystytään erottamaan paljaasta maasta hyvin NDVI-arvon perusteella. Paljaan maan ja muun vettä läpäisemättömän pinnan luokitteluun käytettiin tässä projektissa ns. taajamamaskia, joten tämän maskin tarkkuus määrittää näiden luokkien keskinäisen luokitustarkkuuden. Tässä projektissa kuivan kesän aiheuttama nurmialueiden kuivuminen ja siten heijastuksen muuttuminen paljaan maan suuntaan toi haasteita elollisten kohteiden tunnistamiseen ja erottamiseen elottomista. Kirkkaan kohteet parkkipaikoilla tai teillä (autot, kontit, lentokoneet, maalaukset) tai muut voimakkaasti heijastavat kohteet voivat sekoittua elollisiksi kohteiksi ja siten luokittua korkeustiedon perusteella virheellisesti joko muuksi avoimeksi matalaksi kasvillisuudeksi tai puustoluokkiin (Kuva 16). Sen takia luokittelutuloksista havaitaan, että jonkin verran tapahtuu

sekoittumista luokkien muu avoin matala kasvillisuus, paljas maa ja muu vettä läpäisemätön pinta kesken. Luokkakohtaiset osumisprosentit ovat kuitenkin ihan hyvällä tasolla.



Kuva 16. Kaksi erilaista kohdetta ilmakuvalla (vasemmalla) ja siitä lasketulla NDVI-rasterilla (keskellä) sekä kohteiden maanpeiteluokittelutulos (oikealla). Alemman kuvan oranssit pallot ovat paljaan maan SMPA-referenssipisteitä. Lentokentän kiitoratojen väliset nurmi- ja niittyalueet näyttävät NDVI-kuvalla jopa tummemmilta (elottomammilta) kuin alemman kuvan sora- tai louhosalue.

Muun avoimen kasvillisuuden pisteistä (luokka 212) 90% luokittui oikein referenssiaineistossa (Kuva 14) ja myös SMPA-aineistossa onnistumisprosentti tälle luokalle oli korkea, 83%–92% (Kuva 8). Referenssiaineiston muun vettä läpäisemättömän pinnan kohteista (luokka 130) 75% luokittui oikein (Kuva 14). Toki havaintomäärä oli vain 4, joten on hyvä katsoa tässä myös Kuvan 8 havainnoita, jossa on SMPA-havainnot luokitusvertailussa. Testiruuduilla sadasta muun vettä läpäisemättömän pinnan havainnoista 82% luokiteltiin oikein. Suurin osa virrehavainnoista meni tulkinnassa paljaaksi maaksi. Paljaasta maasta (luokka 410) 62% luokittui oikeaan luokkaan referenssiaineistossa (Kuva 14). Suurin osa virrehavainnoista meni muuksi avoimeksi matalaksi kasvillisuudeksi. Vastaava luku testiruutujen SMPA-aineistossa oli 72% (Kuva 8). Testiruuduilla suurin osa paljaan maan virrehavainnoista luokittui muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi. Paljaan maan luokittelutuloksessa voidaan siis arvioida, että tavoitellusta 80% oikeinluokituksista jäädään hieman tässä luokassa. Se on onneksi ainut kohdeluokka, jossa eri vertailuaineistojen perusteella tavoitteesta jäädään, sillä myös puustoluokat luokittevat hyvin ja referenssiaineiston avokallioista 100% luokittui oikein. SMPA-aineistossa, jossa avokalliohavainnoita oli enemmän, 78%–91% luokittui oikein (Kuva 8).

Maanpeiteluokittelun lopputuloksena voidaan todeta, että automaattinen aineiston luokittelu eri luokkiin ja apuaineistojen käyttö tässä projektissa toteutetulla tavalla näyttää toimivan hyvin, vaikka jo projektin alussa todettiin, että pitkät varjot ja ilmakehu kuivan kesän lopussa hankaloittavat luokittelua. Visuaalisesti arvioiden varjojen häiritsevä ja tulkintaa sekoittava vaikutus jäi ennako-oletuksia pienemmäksi. Eri aikoina kerätyt aineistot, lähtöaineistojen tarkkuus ja paikkansapitävyys sekä muut mainitut ilmakehutulkinnan lopputulokseen ja tarkkuuteen vaikuttavat ominaisuudet on hyvä huomioda aineistoa käytettäessä. Automaattisen tulkinnan etuna voidaan pitää tulkitsijasta riippumattomaa luokittelutulosta ja koko tulkinta-alueen tasalaatuisuutta. Ristiintaulukointitulosten valossa ja tulkintatulosta visuaalisesti arvioimalla maanpeiteluokittelutulos näyttää onnistuneelta.