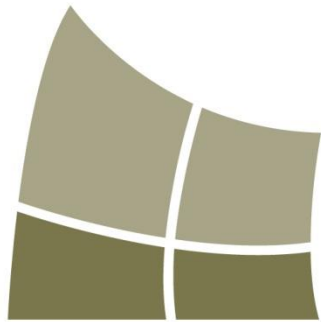




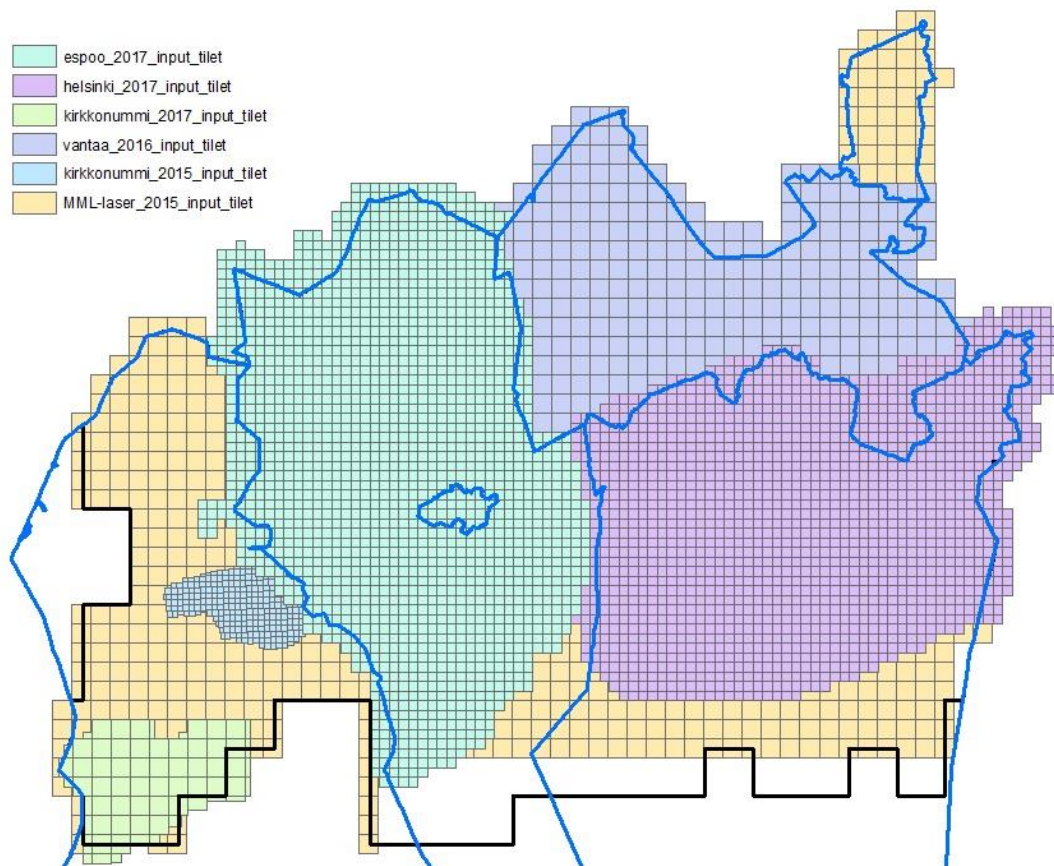
BLOM
IMAGING THE WORLD

Menetelmäkuvaus ja lopputuotteen laadunvarmistus

HSY: ilmakehän- ja pistepilvitulkinta:
Seudullinen maanpeiteaineisto

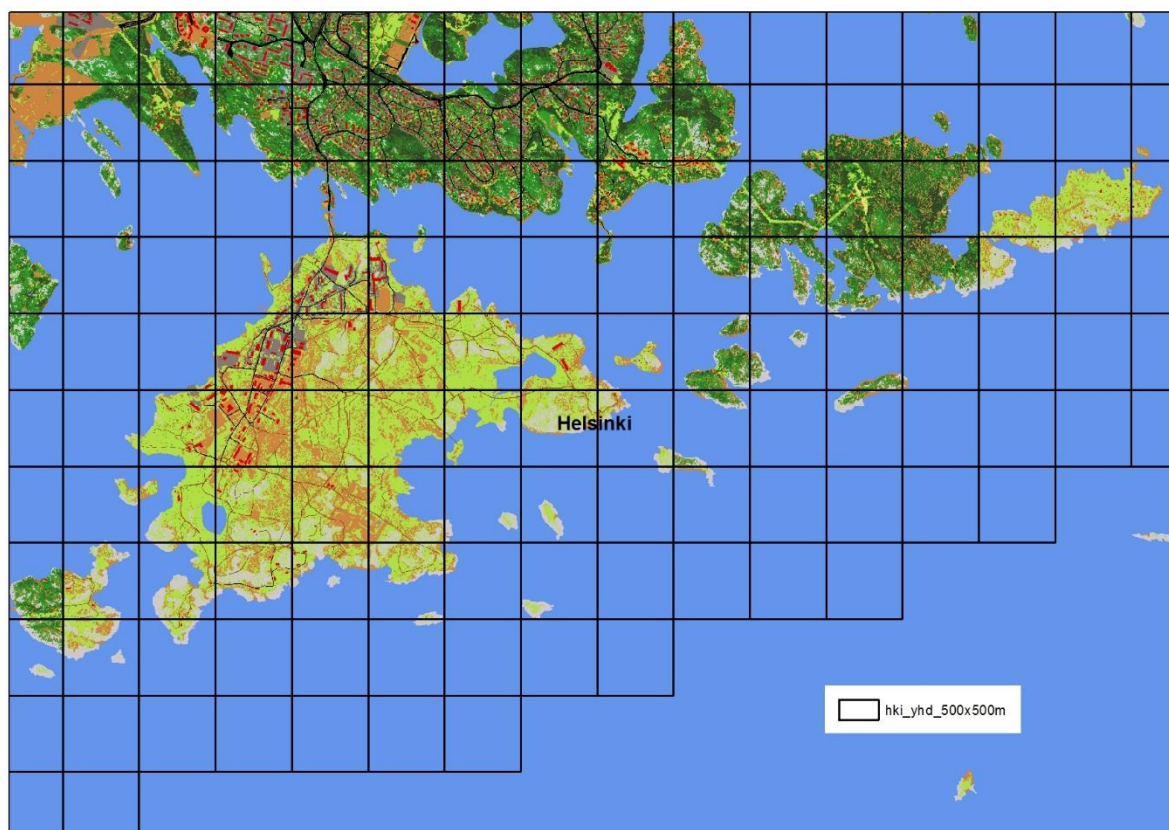
Raportoija:
Annukka Pesonen

Laserkeilausaineistoina käytettiin joko kuntien omia tiheämpiä laserkeilausaineistoja (Espoo, Helsinki, Kauniainen ja osa Kirkkonummea vuodelta 2017, Vantaa vuodelta 2016 ja osa Kirkkonummea vuodelta 2015) tai Maanmittauslaitoksen (MML) avointa vuonna 2015 kerättyä 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 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 rajoittaa laserkeilauspistepilven käyttöä harventamalla tai muuten muokkaamalla rajoitusalueiden pistepilviaineistoa. Esimerkiksi Helsingin Santahaminan alueella on selvästi nähtävissä laserkeilausaineiston harvennus, jopa koko alueen laserpisteiden poisto, mikä heijastuu tulkintatulokseen Kuvan 3 mukaisesti. Tällä alueella puustoisiaakin alueita luokituu esimerkiksi matalaksi kasvillisuudeksi tai paljaaksi maaksi, koska alueet näyttävät laserkeilausaineistolla siltä, että korkeita heijastumia kasvillisuudesta ei juurikaan tule.



Kuva 3. Helsingin Santahaminan alueella ja kuvan itäosassa selkeästi nähtävä laserkeilausaineiston muokkauksesta johtuva seuraus maanpeiteluokittelutulokseen.

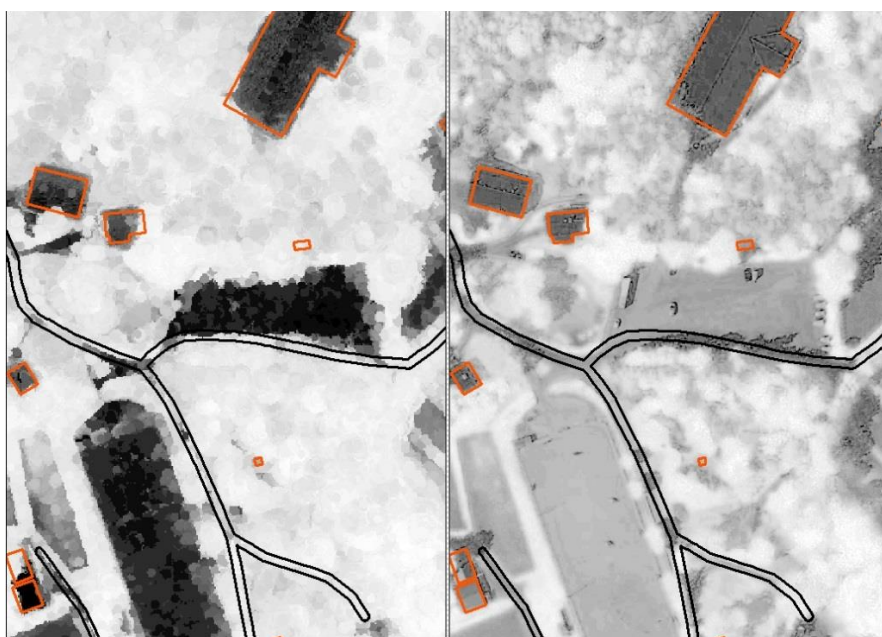
Tulkita-alueelta oli käytössä vuonna 2017 kuvatut ortoilmakuvat (resoluutio 0,2 m) ja lisäksi käytössä olisi ollut ortoilmakuvien level02-raakakuvat (PAN+RGBI). Ilmakuvia käytettiin NDVI-rastereiden tuottamiseen, sillä NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ($(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$) kuvaa hyvin kohteesta heijastuneen näkyvän valon ja lähi-infra-säteilyn määrää ja sen avulla pystytään erottelemaan kohteita elollisiin ja elottomiin. NDVI kuvaa vihreän kasvilisyyden 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. Tämä hankaloittaa ja sotkee ilmakuvatulkinnalla tehtäviä kohteiden luokitteluja.

Kuvassa 4 on esimerkki saman alueen ortoilmakuvasta (vasemmalla) ja sen kanavasuhteista lasketusta NDVI-rasterista (oikealla). Kuvassa näkyy myös varjojen vaikutus NDVI-rasterin arvoihin (tummat kohdat, missä NDVI-arvo pienempi kuin vastaava alue vieressä). Kuvasta voidaan myös todeta, että ortoilmakuvalla hyvin erilaisilta näyttävät kohteet voivat NDVI-rasterilla olla ”yhtä kirkkaita” tai ihmissilmälle selkeä raja ortokuvalla voi hälventyä NDVI-kuvalla.



Kuva 4. Ortoilmakuva (vas) ja ortokuvasta laskettu NDVI-rasteri (oik).

Tässä projektissa testattiin NDVI-rastereiden tuottamisessa sekä level02-kuvia että ortoilmakuvia. Kuvassa 5 on samasta kohdasta vertailun vuoksi molemmilla tavoilla tuotetut NDVI-rasterit. Projektin aikana todettiin, että level02-kuvilta tuotetuilla NDVI-rastereilla eri kohteiden selkeätkin rajat ”turposivat” ja hävisivät tuotantotavasta johtuvasta interpolointimenetelmästä johtuen, joten ortoilmakuvien NDVI-rastereita käytettiin tämän projektin tulkinnessa. Level02-kuvien NDVI-rastereilla varjoalueiden ongelmat olisivat olleet pienemmät (ei kuitenkaan poissa) kuin ortoilmakuvien NDVI-rastereilla, mutta kaiken kaikkiaan ortokuvilta tuotettuja NDVI-rastereiden todettiin olevan huomattavasti tarkempia ja parempia tämän projektin tarpeisiin.



Kuva 5. NDVI-rasteri laskettu level02-kuvista (vas) ja ortokuvista (oik.)

Tulkinnan apuaineistoina käytettiin kuntien tuottamia paikkatietoaineistoja (tiestöt, rakennukset, yleiset alueet, viheralueet, vesistöt, pellot ja suurjännitelinjat) ja tilaajan Maaseutuviraston pelto-lohkorekisteristä muokkaamaa peltomaskia. Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta (ladattu 9.5.2018) käytettiin kohdeluokkia vesialueet (altaat, järvet, virtavesialueet), autoliikennealueet, hautausmaat, kalliot, lentokenttäalueet, maatalousmaat, niityt, puistot, taajaan rakennetut alueet ja varastoalueet. Maastotietokannan kohdeluokkien käytössä oli kuntakohtaisia eroja, koska kunnista saadut aineistot vaihtelivat ja osassa kunnista käytettiin pelkästään kunnan omia aineistoja kun taas toisissa kunnissa niitä täydennettiin maastotietokannalla. Kirkkonummen laajennetulle alueelle käytettiin maastotietokannasta lisäksi rakennusvektoreita. Apuaineistoja saatiin projektin alussa tipottain ja kuntien yhteyshenkilöiden kanssa käytiin sähköpostitteltua epäselvyyksistä ja siitä, miten eri paikkatietoaineistoja ja niiden attribuutteja halutaan hyödynnettävän. Apuaineistoissa oli suhteellisen paljon epäselvyyksiä ja virheitä, joista monia yritettiin korjata ennen varsinaisen tulkinnan aloittamista.

2. LÄHTÖAINEISTOJEN AJANKOHDAN JA TARKKUUKSIEN VAIKUTUS LUOKITTELUTULOKSEEN

Luokittelun onnistumiseen vaikuttaa lähtöaineistojen ajantasaisuus, tarkkuus ja oikeellisuus. Tässä luokittelussa laserkeilausaineisto oli hankittu vuosina 2015–2017 ja ilmakuvat vuonna 2017. Noin puolelle alueesta laserkeilausaineisto oli vuodelta 2017 ja koska ilmakuva-aineisto oli vuodelta 2017, voidaan kaukokartoitusmateriaalien ajantasaisuutta pitää todella hyvänä. Toki etenkin vanhemman laseraineiston alueella ja vilkkailla rakentamisen alueilla on varmasti tapahtunut jonkin verran muutoksia kaukokartoitusaineistojen hankinnan jälkeen. Muun muassa kasvillisuus on kasvanut tai yksittäisiä puita tai puuryhmiä 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.

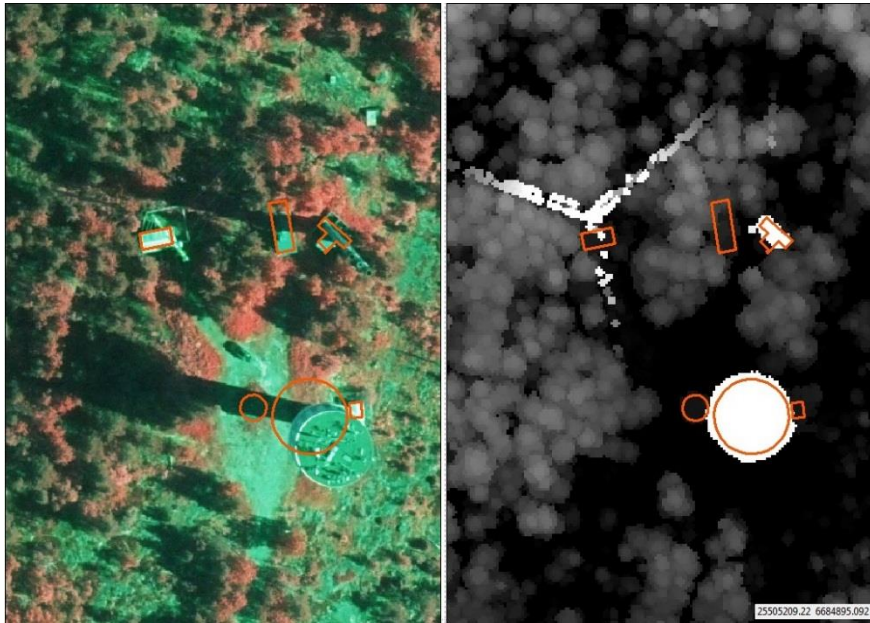
Ilmakuvia käytettiin luokittelussa määrittämään kohteesta heijastuneen säteilyn määrää ja siten luokittelemaan kohteita elottomiin ja elollisiin kohteisiin. Tässä analyysissä käytettiin apuna ilmakuvan kanavasuhteista laskettua NDVI-tunnusta. Mm. rakennusten ja puiden varjot ilmakuvilla häiritsevät kuitenkin 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 alueita, jotka luokittelevat siten ilmakuvatulkinnalla pääasiassa joko paljaaksi maaksi tai muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi. Tätä varjoon jäävien korkeiden kohteiden luokittelua yritettiin korjata sillä, että luokittelussa tarkistettiin osuvatko NDVI-arvoltaan pienet, mutta korkeudeltaan suuret, kohteet viheralue- tai puustomaskien alueelle. Tällä pyrittiin saamaan viheraluemaskin alueelle osuvat varjoon jääneet puustosegmentit luokittumaan puustoksi, vaikka niiden NDVI-arvo olisikin ollut pieni.

Tehtäessä tulkintaa ortoilmakuvasta, on huomioitava ilmakuvien säteissiirtymä, mistä johtuen korkeat kohteet, kuten puiden latvat, korkeat kerrostalot tai vesitornit, saattavat ilmakuvalla näyttää olevan eri kohdassa kuin laserkeilausaineistolta tehdyllä kasvillisuuden pintamallilla (Kuvat 6 ja 7). Jos NDVI-rasterit olisi tehty level02-kuvista, olisi NDVI-sävyjen sijainti vastannut paremmin laserkeilausaineiston (kasvillisuuden pintamallit) sijaintia ja todellista maastosijaintia, mutta toisaalta level02-aineistosta tuotettujen NDVI-rastereiden edellä mainitut ominaisuudet (ongelmat) johti-

vat siihen, ettei niitä pidetty käyttökelpoisina tässä tulkinassa. On myös huomioitava, että luokittelutulosta kuitenkin yleensä tarkastellaan ortoilmakuvien päällä, joten tulkintaa tehtäessä haluttiin, että luokittelutulos vastaa sijainniltaan paremmin ortoilmakuvia. Tulkintaan aiheutti kuitenkin haasteita se, että laserkeilausaineistolta tuotetulla kasvillisuuden pintamallilla ja ortoilmakuvilta lasketuilla NDVI-rastereilla korkeiden kohteiden sijainti ei vastaa toisiaan. Samoin ortoilmakuvien NDVI-arvot eivät vastaa esimerkiksi rakennusten todellista sijaintia säteissiirtymästä johtuen (ks. Kuva 6). Tämän ilmiön vuoksi korkeiden rakennusten vieressä voi olla epätarkkuutta luokittelussa. Myös etenkin lentojonolinjojen reuna-alueilla, missä ortoilmakuvien säteissiirtymä on suurinta, puiden latvojen sijainti ilmakuvalla ja kasvillisuuden pintamallilla eroaa toisistaan sen verran, että myös siitä syntyy omat haasteet tulkinnan onnistumiselle. Puun latvuksen oikea sijainti saadaan laserkeilausaineiston kasvillisuuden pintamallilta, mutta säteissiirtymästä johtuen latvuksen NDVI-arvot saattavat olla osittain viereiseltä alueelta, esimerkiksi tieltä tai hiekkakentältä, ja siten puustosegmentin NDVI-arvo ei vastaa latvuksen todellisen sijainnin mukaista heijastusta. Tästäkin syystä luokittelukaavioon oli otettu mukaan korkeiden, mutta tummien eli NDVI-arvoltaan pienien, kohteiden tarkistus viheraluemaskin avulla.



Kuva 6. Ortoilmakuvien säteissiirtymästä johtuva korkeiden rakennusten sijainnin siirtyminen ilmakuvalla rakennuspolygoniin (punainen viiva) nähden.



Kuva 7. Vasemmalla ortoilmakuvien säteissiirtymästä johtuva korkean vesitornin sijainnin siirtymä ilmakuvalla. Vesitornin oikea sijainti on kuvassa punaviivaisena polygonina. Laserkeilausaineistosta tuotetulla kasvillisuuden pintamallilla (oikealla) tämän vesitornin sijainti vastaa rakennuspolygonia.

Luokittelun apuaineistoina käytettyjen vektoriaineistojen tarkkuudella ja paikkansapitävyydellä on suuri vaikutus luokitustulokseen. Rakennuspolygonista esimerkiksi puuttui joitakin rakennuksia (Kuva 8).



Kuva 8. Esimerkki kohdasta, missä osa korttelin rakennuksesta puuttuu rakennusvektorista.

Myös muissa apuaineistoissa oli puutteita, virheitä ja epäselvyyksiä, joista isoimpia havaintoja selviteltiin ja korjattiin parhaan mukaan ennen luokittelutyön aloitusta. Kuntien toimittamista vektoriaineistoista muodostettiin esimerkiksi päällystetty- ja päällystämätön tie- maskit sekä viherpinta- ja taajama-alue-maskit. Näiden muodostuksessa valittiin eri aineistoista attribuuttien perusteella erilaisia kohdeluokkia eri maskeihin. Aineistoja koostettaessa huomattiin attribuuteissa joitakin epä johdonmukaisuuksia ja virheitä, mistä keskusteltiin kuntien edustajien kanssa.

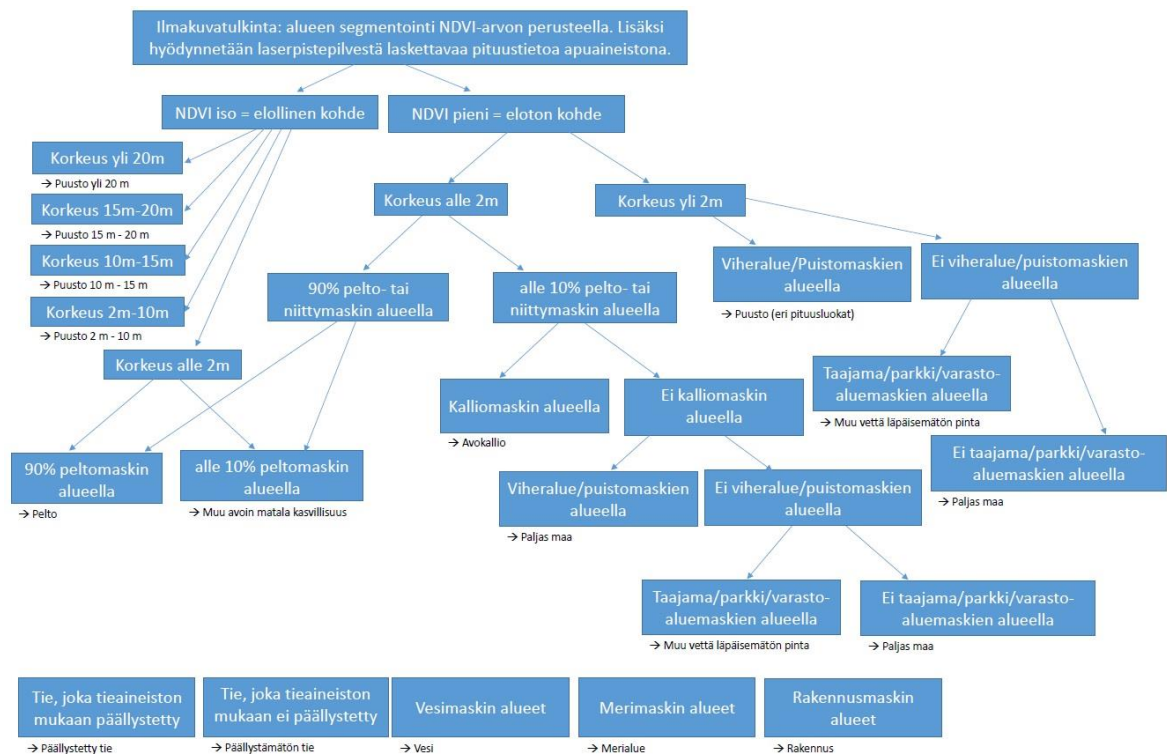
3. LUOKITTELUN TOTEUTUS

Maanpeiteluokittelu aloitettiin jakamalla tulkittava alue pieniin yksiköihin, ns. prosessointiyksiköihin, sillä ilmakehäväläisyyden kokoinen jaottelu olisi ollut liian raskas segmentointiohjelmistolle ja geometriakäsittelyihin. Koska keinotekoisia rajoja lopputuotteessa pyrittiin välttämään, tehtiin prosessointiyksiköiden rajoja lähinnä tiealueille. Joitakin keinotekoisia rajoja jouduttiin tekemään myös metsäisempiin ympäristöihin esimerkiksi Nuuksion seudulle, koska tieverkosto ei riittänyt alueen pilkkomiseen tarpeeksi pieniin yksiköihin. Keinotekoiset rajat voivat hieman näkyä vektoriaineistossa, mutta niiden määrä pyrittiin pitämään niin pienenä kuin suinkin mahdollista.

Segmentointiprosessia varten ilmakehäväläisyyden ja laserkeilausaineistot prosessoitiin ja niistä tuotettiin segmentointirasterit prosessointiyksiköille. Segmentoinnissa käytettiin kasvillisuuden pintamallia (CHM, Canopy Height Model) ja NDVI-rasteria, joka oli segmentointiohjelman parametrisoinnin vuoksi skaalattu samalle arvoaluevälille kuin kasvillisuuden pintamallien korkeusarvot (vaihteluväli -1...+1 skaalattu lineaarisella skaalauksella välille 0–40). Tämän jälkeen alueelle tehtiin pieni-piirteinen automaattikuviointi eli segmentointi käyttäen ensisijaisena segmentointirasterina NDVI-rasteria. Kasvillisuuden pintamallia käytettiin segmentoinnissa pienemmällä painolla. Tuotetuille segmenteille laskettiin Mean_chm ja Mean_ndvi-arvot eli segmentin sisäpuolen pikseleistä keskiarvo kasvillisuuden pintamallilta ja NDVI-rasterilta. Näitä arvoja käytettiin luokitteluprosessin ensimmäisissä vaiheissa jaottelemaan kohteita Kuvan 9 kaavion mukaisesti eri luokkiin.

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 luokitella eri luokkaan. Lisäksi erilaiset valaistusolosuhteet johtavat heijastusten erilaisuuteen, minkä vuoksi varjossa olevat kohteet saavat hyvin erilaisia NDVI-arvoja kuin valoisassa olevat kohteet.

Tilaajan tekemien määritelmien mukaisesti apuaineistot olivat tukemassa tulkintaa ja vain rakennusten, teiden, vesi- ja merialueiden kohdalla apuaineistot esittävät sellaisenaan tulkinnan lopputulosta. Luokittelukaaviossa edettiin ylhäältä alaspäin luokittelemalla segmenttejä korkeus- ja NDVI-arvojen perusteella ja tekemällä geometrioiden valintaa ja leikkauksia apuaineistojen avulla. Pelto- ja niittymaskit ohjasivat tulkintaa siten, että pelloiksi luokiteltiin kaikki segmentit, joiden pinta-alasta vähintään 90 % oli peltoaineiston sisällä. Samaa 90 % sääntöä käytettiin niittymaskin kanssa määritettäessä segmenttejä muu avoin matala kasvillisuus-luokkaan. Kuvassa 10 on listattu maanpeiteluokittelun tuloluokat luokkakoodineen ja väreineen.



Kuva 9. Luokittelukaavio.

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 10. Maanpeiteluokittelun luokat, koodiarvot ja värit.

Kun alueen segmentointi ja luokittelu oli muuten valmis, korjattiin suurjännitelinjoiden (bufferoitu 10 metrillä) alle jääviä korkeaksi kasvillisuudeksi luokittuneita segmenttejä muu matala kasvillisuus-luokkaan tilaajan määritelmän mukaan. Tällä saatiin korjattua oikeammaksi niitä kohtia, missä sähkölinjojen johdoista on tullut laserpistepilveen korkeita havaintoja ja siten kasvillisuuden pintamallilla näkyy korkeita pikseliarvoja. Pienemmille sähkölinjoille vastaavaa korjausta tai luokkien muokkausta ei tehty, joten niiden alueella korkean kasvillisuuden segmenttejä voi edelleen esiintyä vaikka todellisuudessa korkeat havainnot ovat sähkölinjoista.

Maanpeiteluokittelun loppuvaiheessa kohdeluokille tehtiin geometrioiden sipistelyä, esimerkiksi pienten alle 10 m² luokkien yhdistämistä naapuriin, 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 tms. luokan paloja, koska sopivaa naapuria yhdistämiseen ei ole löytynyt. Lisäksi alle 10 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 noin 10 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.

Maanpeiteluokittelun välivaiheena asiakkaalle toimitettiin myös leikkaamattomat viherpinnat, missä puusto, pelto- ja muun matalan kasvillisuuden segmenttejä ei ollut leikattu millään apuaineistolla. Myös tämän aineiston tuotannossa huomioitiin samat geometriakäsittelyt ja muokkaukset kuin varsinaisen maanpeiteaineiston tapauksessa.

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.

Luokittelun validoimiseksi asiakkaalta saatiin 3620 kpl referenssipisteitä eri puolilta projektialuetta. Suurin osa referenssipisteistä oli paljasta maata tai muuta vettä läpäisemätöntä pintaa, yhteensä 2882 kpl (940 + 1942). Referenssiaineistosta oli etukäteen tiedossa, ettei sen oikeellisuuteen pitä täysin luottaa, joten referenssiaineistoa käytettiin varauksella. Kuvassa 11 on taulukoituna

kaikki referenssipisteet vertailumatriisiin ilman että referenssipisteistä on poistettu osa pisteistä myöhemmin alla esitetyin perustein.

		Maanpeiteluokittelutulos, Koodi														yht, kpl	osuu, %
		111	112	120	130	211	212	221	222	223	224	310	410	510	520		
Referenssipisteet, Koodi	111	3			1								2			6	50 %
	112															0	
	120			10												10	0 %
	130	47	3	14	650		20	3		3			200			940	69 %
	211					12										12	100 %
	212		1		15	20	308	1					75	1		421	73 %
	221															0	
	222															0	
	223															0	
	224															0	
	310		2		6		15	3				193	31	2		252	77 %
	410	19	251	9	359	16	96	3	2	3		6	1169	2	7	1942	60 %
	510				2								6	29		37	78 %
	520															0	
yht, kpl		69	257	33	1033	48	439	10	2	6	0	199	1483	34	7	3620	
osuu, %		4 %	0 %	30 %	63 %	25 %	70 %	0 %	0 %	0 %		97 %	79 %	85 %	0 %		66 %

Kuva 11. Koko referenssipisteaineiston vertailu tulkintatulokseen.

Referenssipisteistä 400 kpl oli sellaisia, jotka osuivat joko tie-, rakennus-, vesi- tai merialuemaskien alueelle; päällystettyihin teihin osui 69 kpl, päällystämättömiin teihin 257 kpl, rakennuksiin 33 kpl, vesiin 34 kpl ja merialueelle 7 kpl pisteistä (Kuva 11). Koska nämä luokat olivat sellaisia, joille luokittelutulos oli otettava suoraan apuaineiston mukaan, voidaan näiden kohteiden luokittelutulosta pitää määritelmän mukaan tuotettuna ja oikeana referenssipisteiden koodiarvoista huolimatta. Kuvan 11 taulukosta voidaan todeta, että referenssipisteissä oli erityisen paljon sellaisia pisteitä, jotka referenssin mukaan olivat paljasta maata, mutta apuaineistossa päällystämättömiä tietä (251 kpl). Myös sellaisia referenssipisteitä, jotka oli referenssissä luokiteltu muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi, mutta osuivat päällystetyn tien alueelle, oli runsaasti, 47 kpl. Kaiken kaikkiaan näiden maskien alle osuneesta 400 referenssipisteestä vain 42 kpl (3 + 10 + 29) eli 11 % sai maanpeiteluokittelussa saman koodiarvon, mitä referenssipisteelle oli määritetty. Tälle isolle erolle ei tulkinnan avulla voida mitään, koska tiet, rakennukset, vedet ja meret oli määriteltävä suoraan tulkintaa varten saatujen apuaineistojen mukaan. Tämä tulos herättää ajatuksia apuaineistojen tai referenssipisteiden laadusta.

HSY:n toimittaman peltomaskin alueelle osuvia referenssipisteitä oli 54 kpl. Näistä pisteistä vain 12 kpl oli määritetty referenssissä pelloksi, neljä osui tiemaskin alueelle, 21 kpl oli referenssissä määritetty muuksi avoimeksi kasvillisuudeksi ja 17 kpl paljaaksi maaksi. Kaikki 12 kpl referens-

sissä pelloksi määritettyä pistettä oli myös tulkintatuloksessa peltoa. Maanpeiteluokittelussa peltomaskilla oli suuri rooli peltoalueiden määrittelyssä, koska tulkintatyön määrittelyjen mukaan kaikki segmentit, joiden pinta-alasta vähintään 90 % osui peltomaskin alueelle, oli luokiteltava pelloksi. Peltomaskin vahvan ohjaavuuden vuoksi maanpeiteluokittelussa 50 kappaleesta peltomaskin alueelle osuvasta referenssipisteestä (jotka eivät osuneet tiemaskin alueelle) vain kaksi pistettä oli luokituttunut maanpeiteluokittelussa paljaaksi maaksi ja loput 48 kpl pelloksi. Niin kuin referenssipisteiden luokitteluista huomataan, voi peltomaskin alueella todellisuudessa olla paljon muitakin luokkia, sikäli kuin referenssiluokitteluun on uskomisen.

Tie-, rakennus-, vesi-, meri- ja peltomaskien alle jäävien referenssipisteiden lisäksi referenssiaineistossa oli 11 kpl sellaisia pisteitä, joiden referenssikoodiksi oli määritetty joko vesi tai tie. Myös nämä pisteet otettiin pois Kuvan 12 taulukon luokitteluvertailusta, koska tiet, rakennukset, vedet, meret ja pellot luokiteltiin maanpeiteluokittelussa aina apuaineistojen perusteella, eikä niihin luokkiin luokiteltu muita alueita. Alun perin 3620 kpl referenssipisteistä jäi siis 3159 kpl jäljelle, kun taulukointiin ei otettu mukaan apuaineistosta suoraan otettavien maskien tai peltomaskin alle jääviä pisteitä eikä niitä referenssipisteitä, jotka oli referenssissä luokiteltu johonkin näistä em. luokista.

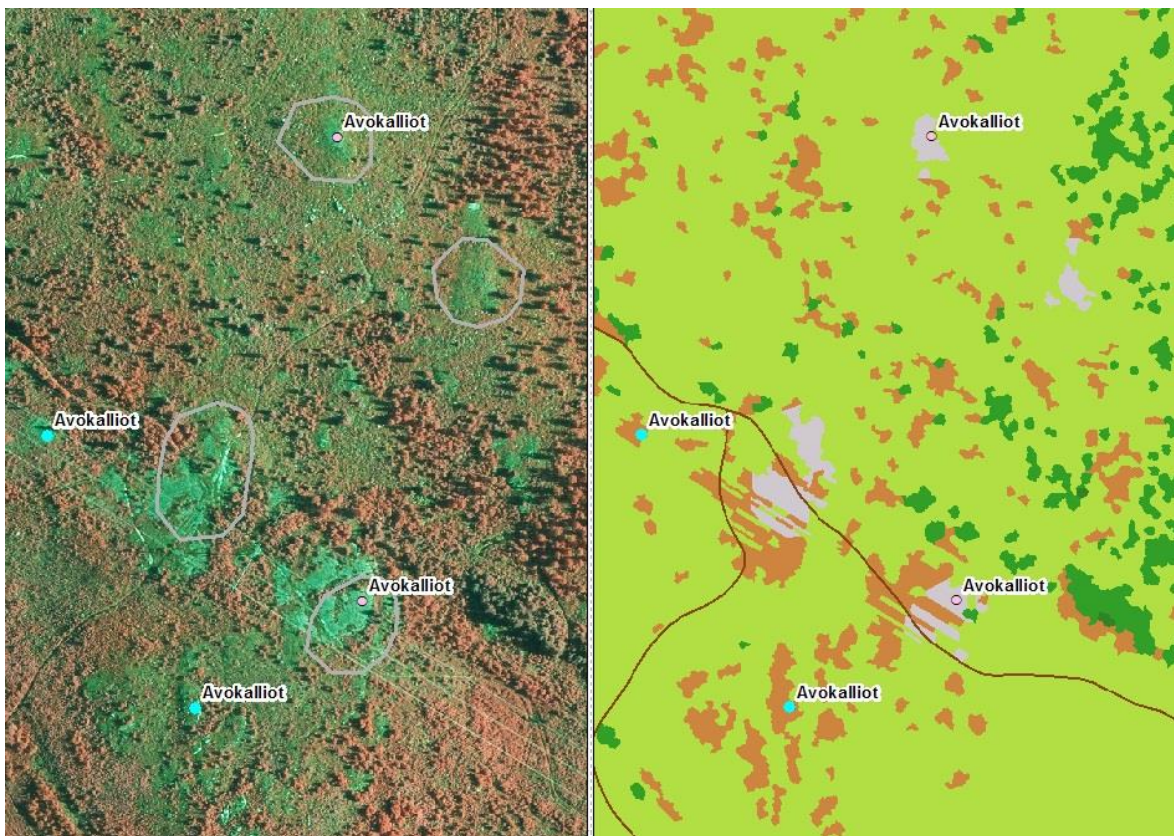
		Maanpeiteluokittelutulos, Koodi								yht, kpl	osuu, %
		130	212	221	222	223	224	310	410		
Referenssipisteet, Koodi	130	650	20	3		3			200	876	74 %
	212	15	308	1					74	398	77 %
	221									0	0 %
	222									0	0 %
	223									0	0 %
	224									0	0 %
	310	6	15	3				193	31	248	78 %
	410	359	96	3	2	3		6	1168	1637	71 %
	yht, kpl	1030	439	10	2	6	0	199	1473	3159	
	osuu, %	63 %	70 %	0 %	0 %	0 %	0 %	97 %	79 %		73.4 %

Kuva 12. Luokittelutuloksen taulukointi luokille muu vettä läpäisemätön pinta, muu avoin matala kasvillisuus, eripituiset puustoluokat, avokalliot ja paljas maa.

Kuvan 12 taulukoinnista nähdään seuraavien referenssipisteluokkien luokittuminen maanpeiteluokittelutuloksessa: muu vettä läpäisemätön pinta, muu avoin matala kasvillisuus, eri puustoluo-

kat, avokalliot ja paljas maa. Kaiken kaikkiaan näistä pisteistä 73.4 % oli luokiteltu referenssiaineistossa samaan luokkaan kuin maanpeiteluokittelutuloksessa. Taulukoinnista voidaan toki todeta, että kaikkia eri luokkia ei ollut vertailussa ollenkaan ja joissakin luokissa oli vain muutamia havaintoja. Yli puolet referenssipisteistä oli paljasta maata. Näistä 71 % osui samaan luokkaan maanpeiteluokittelussa. Lähes kolmannes referenssipisteistä oli muuta vettä läpäisemättöntä pintaa ja näistä 74 % osui maanpeiteluokittelussa samaan luokkaan.

Avokalliomaski ohjasi vahvasti luokittelutulosta, koska kaikki avokalliomaskien alle jäävät matalat ja NDVI-arvoltaan pienet kohteet luokiteltiin avokallioiksi ja mitään kohteita avokalliomaskin ulkopuolelta ei luokiteltu tähän luokkaan. Siten avokallioiksi luokitelluista referenssipisteiden kohtiin osuneista paikoista 97 % oli myös referenssiaineistossa avokallioita. Toisinpäin, referenssipisteiden avokalliokohteista 78 % oli luokiteltu avokallioiksi. Kuvan 13 esimerkkikohteessa näkyy avokalliomaskin rajausta, luokittelutulos ja referenssipisteiden arvot tässä kohdassa.



Kuva 13. Avokallio-referenssipisteitä ja avokalliomaskin rajausta (harmaa viiva) (vasen) ja maanpeiteluokittelutulos samassa kohdassa (oikea).

Kuten tämän projektin aloituspalaverissa todettiin, on vettä läpäisemättömän pinnan ja paljaan maan luokittelu ilmakuvatulkinnalla ilman apuaineistoja haasteellista. Edes monikanavaisella Titan-aineistolla ei aiempien kokemusten perusteella ole saatu eroteltua näitä luokkia sävyarvojen tai tekstuurin avulla luotettavasti toisistaan. Tässä projektissa käytettiin taajama- ja viheraluemaskia kohteiden luokittelussa paljaaseen maahan ja muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi. Yksinkertaistettuna taajama-alueilla olevat NDVI-arvoltaan pienet kohteet luokiteltiin muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi, ja vastaavat alueet taajama-maskin ulkopuolella paljaaksi maaksi, jo-

ten näitä molempia luokkia esiintyy tulosaineisossa apuaineiston maskien mukaisilla alueilla. Kuvan 14 taulukossa on luokittelujen vertailumatriisi, missä paljas maa ja muu vettä läpäisemätön pinta-luokat on yhdistetty keskenään. Siitä näkee, miten luokittelu näihin luokkiin onnistui, jos pidetään näitä luokkia samana. Referenssipisteistä, joiden luokkana oli joko paljas maa tai muu vettä läpäisemätön pinta, 95 % osui vastaavaan luokkaan maanpeiteluokittelutuloksessa.

		Maanpeiteluokittelutulos, Koodi								
		130/410	212	221	222	223	224	310	yht, kpl	osuu, %
Referenssipisteet, Koodi	130/410	2377	116	6	2	6		6	2513	95 %
	212	89	308	1					398	77 %
	221								0	0 %
	222								0	0 %
	223								0	0 %
	224								0	0 %
	310	37	15	3				193	248	78 %
yht, kpl		2503	439	10	2	6	0	199	3159	
osuu, %		95 %	70 %	0 %	0 %	0 %	0 %	97 %		91.1 %

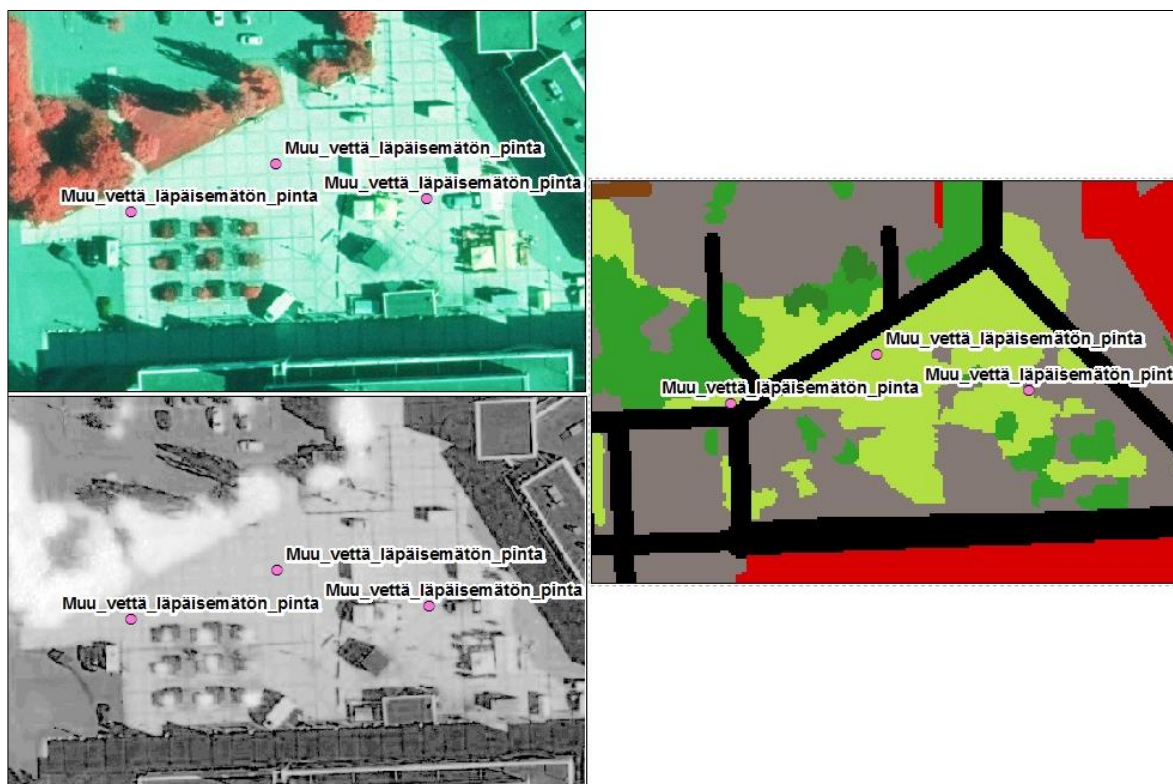
Kuva 14. Luokittelutuloksen taulukointi kuvan 12 luokille siten, että muu vettä läpäisemätön pinta ja paljas maa-luokat on yhdistetty samaan luokkaan.



Kuva 15. Vettä läpäisemätön pinta-referenssipisteitä keinonurmella. Luokittelutulos paljas maa.

Kun tarkasteltiin kohteita, missä paljas maa on sekoittunut luokittelussa muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi tai toisinpäin, todettiin että toki näiden luokkien sekoittuminen johtuu käytetyistä maskeista ja menetelmästä, miten nämä luokat luokittelussa määriteltiin luokittelukaavion mukaan, mutta toisaalta referenssipisteistössä on myös kyseenalaisia koodiarvoja joillakin pisteillä. Esimerkin 15 kuvassa on tekonurmikenttä, joka on referenssissä määritelty vettä läpäisemättömäksi pinnaksi. Tässä on yksi esimerkkikohde, mistä epäilyttää, onko referenssiluokitus oikein.

Tarkasteltaessa niiden referenssipisteiden luokittelua, missä muu vettä läpäisemätön pinta oli luokitunut väärin johonkin muuhun kuin paljaaksi maaksi, havaittiin erilaisten pintamateriaalien vaikutus heijastukseen. Kuvassa 16 on esimerkkikohde, missä kaupunkialueella on laatoitettu pinta, mistä säteily on voimakasta ja kanavasuhteista lasketulla NDVI-rasterilla (Kuva 16, vasemmalla alhaalla) kohde näyttää kirkkaalta. Tässä NDVI-arvo on lähellä elottomien ja elollisten kohteiden raja-arvoa ja osa alueesta on luokitunut elolliseksi ja siten avoimeksi kasvillisuudeksi ja osa alueesta on saanut juuri raja-arvoa pienemmän NDVI-arvon ja on luokiteltu muuksi vettä läpäisemättömäksi pinnaksi.



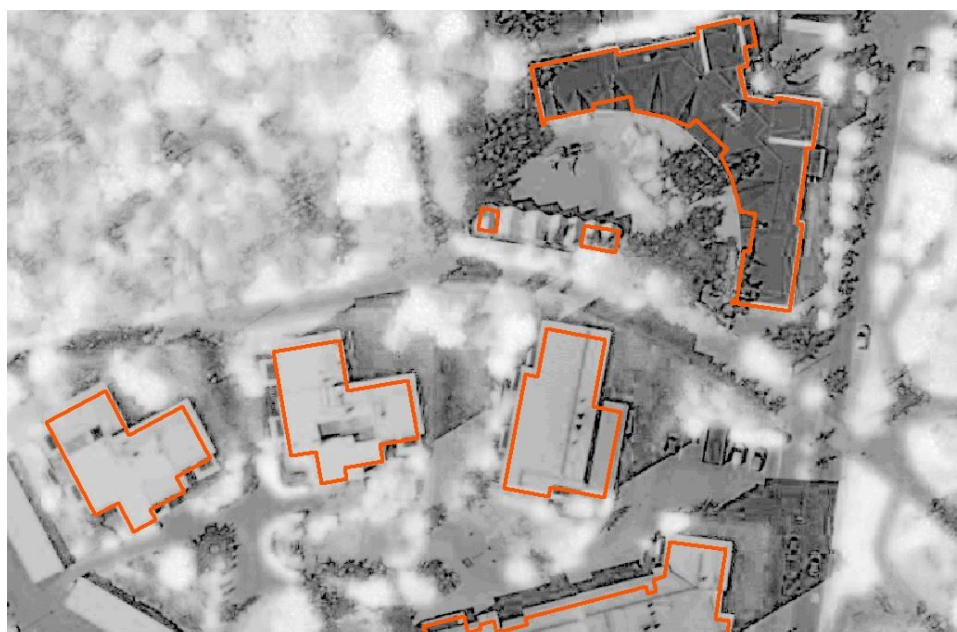
Kuva 16. Referenssipisteiden alueella iso heijastus ja NDVI-rasteri (vas alhaalla) kirkas, joten kohteet sekoittuvat elolliseen luokkaan muuksi avoimeksi kasvillisuudeksi (oik).

Toinen vastaava esimerkki on Kuvissa 17 ja 18, missä on rakennuksia, joissa on erilaisia kattomateriaaleja. Kuvissa punaisella viivalla on kuvattuna rakennusvektorin sijainti. Ortokuvalla (Kuva 17 vasemmalla) huomataan, että ortokuvan säteissiirtymän ja/tai rakennusvektorin tarkkuuden vuoksi osa ortokuvalla näkyvästä rakennuksesta menee rakennuspolygonin ulkopuolelle. Näinollen myös NDVI-rasterilla kirkkaat katosta heijastuvat sävyarvot ulottuvat jonkin verran rakennuspolygonin ulkopuolelle (Kuva 18). Alueen pohjoislaidassa olevien talojen katoista heijastus on pientä ja NDVI-arvot pieniä, mutta alueen eteläosan talojen kattojen materiaali on erilainen ja

heijastus suurempaa. Näiden kattojen reunat saavat korkeita NDVI-arvoja eli näkyvät rasterissa kirkkaampina (Kuva 18). Rakennuspolygonin ulkopuolella rakennuksen vieressä kirkkaat ja korkeat kohteet luokittelevat sen vuoksi väärin korkeaksi kasvillisuudeksi (Kuva 17 oikealla). Tällaiset erilaiset pintamateriaalit, voivat siis NDVI-rasterilla näyttää elollisilta, koska ne saavat korkeita NDVI-arvoja, ja luokittelevat väärään luokkaan.



Kuva 17. Kattomateriaalin vaikutus heijastukseen ja siten tulointitulokseen rakennuksen reunoilla.



Kuva 18. NDVI-rasteri kuvan 17 talojen alueelta. Kattomateriaalin vaikutus NDVI-arvoon.

Ilmakuvakanavien informaatio ei siis riitä kaikkien erilaisten kohteiden luokitteluun oikein ja erottelemaan niitä toisistaan. Osa elollisista kohteista saa pieniä NDVI-arvoja ja osa elottomista kohteista saa suuria NDVI-arvoja. Yksiselitteisen raja-arvon määrittäminen, millä eri kohteet saataisiin aukottomasti luokiteltua oikein, on siis mahdotonta. Lisäksi valaistusolosuhteet monimutkaistavat olosuhteita vielä entisestään. Yleisesti on tiedossa, että myös esimerkiksi kosteus vaikuttaa kohteiden heijastuksiin eli jos eri puolilla aluetta on tullut sadekuuro niin sellaisillakin tekijöillä voi olla vaikutusta heijastusominaisuuksiin ja siten automaattiluokitteluihin.

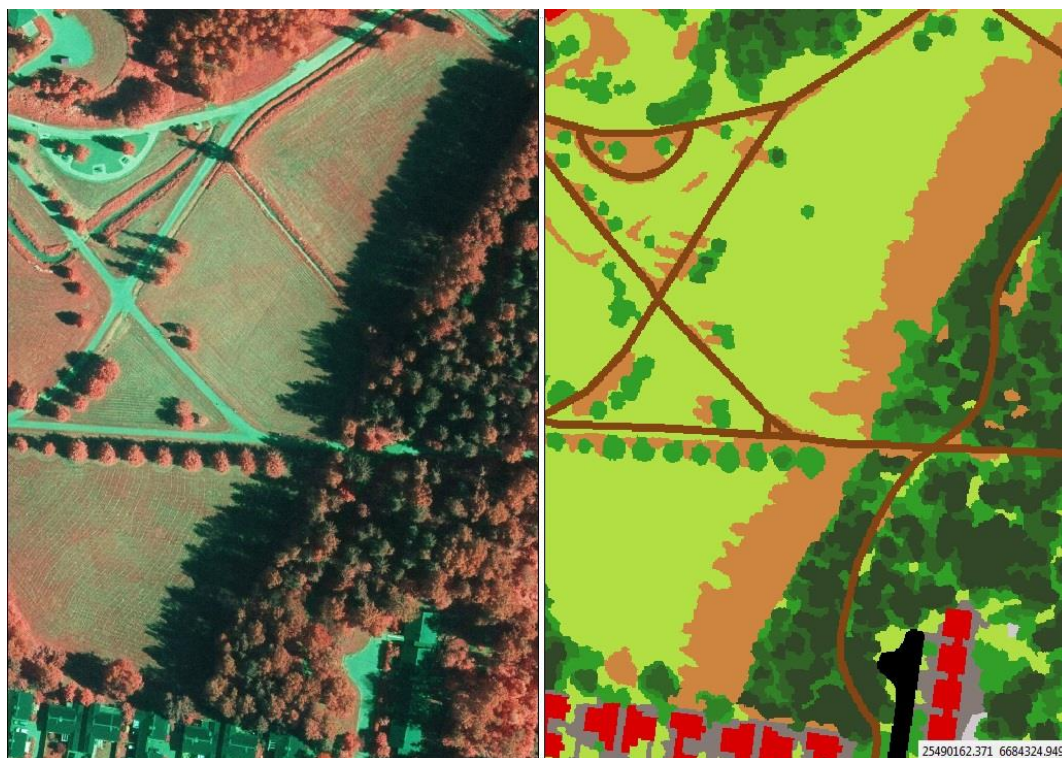
Alla kuvissa 19–21 on esimerkkikohtia, mistä nähdään, miten ilmakuvien varjot vaikuttavat luokittelutulokseen. Varjoalueilta havaittu heijastuksen määrä on hyvin erilainen kuin aurinkoisilla alueilla ja vaikuttaa siten kanavasuhteista laskettuun NDVI-arvoon, mikä määrää luokittelun ensimmäisessä vaiheessa, onko kohde eloton vai elollinen. Varjoalueet tulkitaan elottomiksi ja ne menevät luokittelukaavion mukaisiin maskitarkasteluihin ja sen mukaisiin luokkiin. Varjojen vaikutus luokitteluun oli tiedossa jo ennen projektin aloitusta ja luokittelutuloksesta (Kuvat 19–21) voidaan havaita, miten erilaiset valaistusolosuhteet vaikuttavat tulosrastereihin. Muu avoin matala kasvillisuus luokan pisteitä luokituu varjoalueilla paljaaksi maaksi, koska ne tulkitaan NDVI-arvoltaan pieniksi eli elottomiksi kohteiksi.



Kuva 19. Varjon vaikutus luokittelutulokseen. Referenssipisteitä auringossa ja varjossa.



Kuva 20. Varjon vaikutus luokittelutulokseen. Referenssipisteitä auringossa ja varjossa.



Kuva 21. Varjon vaikutus luokittelutulokseen.

Tämän referenssiaineiston luokitteluvierailun ja koko alueen visuaalisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että ennen projektia esiin nostetut ilmakuvatulkinnan haasteet tulivat ilmi tulkin-taa tehdessä. Ilmakuvien erottelukyky elottoman ja elollisen erotteluun ei ole täysin mutkatonta ja haetun kynnsarvon lähellä tapahtuu odotetusti väärinluokitteluja. Ortokuvien säteissiirtymistä aiheutuvat ongelmat tulevat myös esiin luokittelussa ja yhtenä tärkeänä lopputuotteen laatuun vaikuttavana tekijänä, ehkä tärkeimpänä, on apuaineistojen geometrinen tarkkuus ja attribuuttien paikkansapitävyys. Osa luokista luokitellaan suoraan apuaineistojen perusteella, joten tällöin apu-aineistojen paikkansapitävyys on ensiarvoisessa roolissa. Toisien luokkien luokittelussa apuaineis-toilla on suuri rooli. Ilmakuvatulkinnalla paljaan maan ja muun vettä läpäisemättömän pinnan luokitteluun käytettiin taajama- ja viheraluemaskeja. Toki näidenkin maskien sisäpuolelle sattuu erilaisia kohteita, mistä osa on vettä läpäisevää ja osa paljasta maata. Ilmakuvien kanavien infor-maatiolla näiden erottelu toisistaan on hyvin hankalaa tai mahdotonta, eikä myöskään moni-kanavakeilain-Titanilla ei ole saatu juurikaan parempia tuloksia. Tässä projektissa kaukokartoitus-aineistojen lähtöaineistot olivat hyvin ajantasaisia, mikä on todella hyvä lähtökohta ajantasaisen maanpeite- ja korkeustiedon saamiseksi kohteille.

Projektin alussa oli jokaiselle luokalle asetettu oikeinluokitustavoitteeksi 80 %. Edellä käytiin läpi tarkemmin havaintoja referenssipisteistä ja eri luokkien oikeinluokitusprosentteja. Koska tie-, ra-kennus-, vesi- ja merialueet luokiteltiin suoraan asiakkaalta saatujen apuaineistojen avulla, voidaan näissä luokissa luokituksia pitää täysin oikeina. Projektin alussa tämän vuoksi käytettiin melko paljon aikaa eri kunnista saatujen aineistojen epäselvyyksien ja virheiden korjaamiseen, jotta saa-tiin korjattua havaittuja virheitä ja poimittua eri aineistoista haluttuja luokkia oikeisiin maskeihin. Myös lähtöaineistoksi saatu peltomaski ohjasi vahvasti alueiden luokittelua pelloiksi, joten pelto-luokan luokittelutulosta voidaan pitää niin hyvänä kuin sen luokittelussa käytetty maski on. Avokalliomaski ohjasi vahvasti avokallioiden luokittelua, koska mitään maskin ulkopuoleisia alueita ei luokiteltu avokallioiksi. 78 % referenssipisteiden avokalliokohteista oli myös luokittelutuloksessa avokallioita. Osa avokallioreferenssipisteistä oli avokalliomaskin ulkopuolelle. Tällä luokittelume-netelmällä niille alueille ei voi luokittelutulokseksi tullakaan avokalliota, joten nämä pisteet meni-vät maanpeiteluokittelussa eri luokkiin, pääasiassa paljaaksi maaksi.

Muun vettä läpäisemättömän pinnan ja paljaan maan luokittelutarkkuudet olivat 74 % ja 71 %, mutta jos nämä kaksi luokkaa pistettiin yhteen luokkaan, oli tarkkuus 95 % eli ainoastaan 5 % referenssipisteiden kohdista oli luokitellut johonkin muuhun luokkaan kuin jompaankumpaan näistä. Muu avoin matala kasvillisuus-luokan pisteistä 77 % oli luokiteltu samaan luokkaan maan-peiteluokittelussa. Suurin osa virheellisistä tämän luokan pisteistä luokiteltiin paljaaksi maaksi ja tar-kemmassa tarkastelussa nämä osoittautuivat lähinnä varjossa oleviksi kohteiksi. Referenssipis-teissä ei ollut yhtään havaintoa puustoalueilta, joten näistä ei ole saatavilla oikeinluokitusprosent-teja. Koska laserkeilausaineisto oli suhteellisen tuoretta (suurin osa vuodelta 2017 ja loput vähin-tään vuonna 2015 hankittua), voidaan kasvillisuuden kasvua pitää suhteellisen vähäisenä, mutta pieniä luokkamuutoksia toki kasvun vuoksi tapahtuu. Laserkeilausaineisto on kuitenkin tarkkaa pituuden määrittelyyn, joten puustoalueiden luokittelutarkkuuden pitäisi olla hyvällä tasolla.

Visuaalisesti tarkasteltuna automaattinen aineiston luokittelu eri luokkiin ja apuaineistojen käyttö tässä projektissa toteutetulla tavalla toimii maanpeiteluokittelussa melko hyvin edellä kuvatuin haastein. Paljasta maata ja muuta vettä läpäisemättömää pintaa on hankala erotella ilmakuvien avulla, varjot sotkevat luokitteluja ja säteissiirtymät aiheuttavat omat haasteensa. Automaattisen tulkinnan etuna voidaan kuitenkin pitää tulkitsijasta riippumatonta luokittelutulosta ja koko tul-kinta-alueen tasalaatuisuutta.