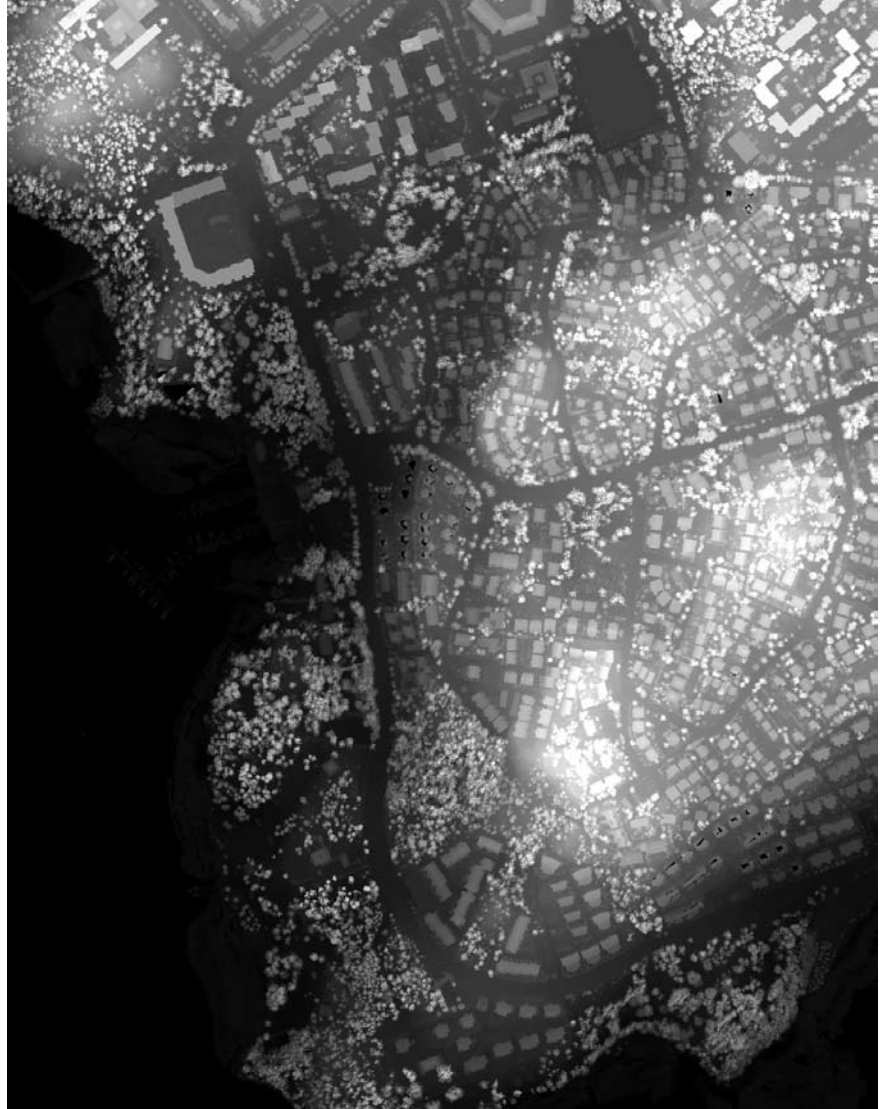


**Optech-laserkeilaus-
aineistosta
muodostettu
pintamalli. Kuvassa
Laurinlahden pien-
taloaluetta Espoossa.**



**Tutkimustulokset
osoittavat, että
rakennukset voidaan
löytää automaattisesti
hyvällä tarkkuudella,
kun käytetään sekä
laserkeilaus- että
ilmakuva-aineistoja.
Myös automaattisesta
muutostulkinnasta on
saatu lupaavia tuloksia.**

Leena Matikainen

Rakennusten automaattinen tunnistus ja muutostulkinta laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistoista

VIIME VUOSIEN merkittäviä uutuuksia kaukokartoituslalla ovat laserkeilaus ja digitaaliset ilmakuvat. Näiden aineistojen käyttöönotto on tehnyt myös automaattisten tulkintamenetelmien kehittämisen ja hyödyntämisen kartoituksessa entistä realistisemmäksi tavoitteeksi. Laserkeilauksesta saatava tarkka korkeustieto mahdollistaa korkeiden ja matalien kohteiden erottelun. Monikanavainen ilmakuva-aineisto taas on hyödyllistä esimerkiksi kasvillisuuden tunnistamisessa. Sen avulla voidaan erottaa rakennukset puista tai kasvillisuuden peittämät matalat kohteet kasvittomista.

Automaattisia menetelmiä ilma- ja satelliittikuvakartoitukseen on vuosien varrella tutkittu paljon, mutta niiden kehittäminen on osoittautunut vaikeaksi haasteeksi. Uudet laser- ja kuva-aineistot

helpottavat asiaa, mutta täysin automaattisia menetelmiä ei siltikään pidetä realistisena tavoitteena ainakaan lähitulevaisuudessa. Kiinnostus kohdistuu erityisesti osittain automaattisiin työkaluihin, joista olisi apua manuaalisessa työssä. Yksi mahdollinen sovellus tällaisille työkaluille on karttakohteiden muutostulkinta. Tämä on ajankohtainen tutkimusaihe, koska kartta-aineistot ovat nykyisin yleensä digitaalisessa muodossa ja keskeinen osa käytännön kartoitustyötä on näiden tietojen ajan tasalla pitäminen. Ajatuksena on, että jos muuttuneet kohteet pystyttäisiin automaattisesti löytämään riittävän hyvällä tarkkuudella, tuloksia voitaisiin käyttää aputietona ajantasaisuudessa ja manuaalisessa työssä voitaisiin keskittyä muuttuneiden kohteiden korjaukseen ja digitointiin. Muutosten etsimiseen kulu-

vaa aikaa voitaisiin vähentää ja parhaassa tapauksessa myös kartta-aineiston laatua parantaa.

Geodeettisessa laitoksessa on tutkittu ja kehitetty laserkeilausaineistojen käyttöä 2000-luvun alkupuolelta lähtien. Yksi tutkimuskohde on ollut rakennusten automaattinen tunnistus ja muutostulkinta rakennuskarttaan verrattuna. Tutkimus on sisältänyt menetelmäkehitystä ja testausta useilla erilaisilla aineistoilla. Artikkelissa esitellään tämän tutkimuksen tuloksia.

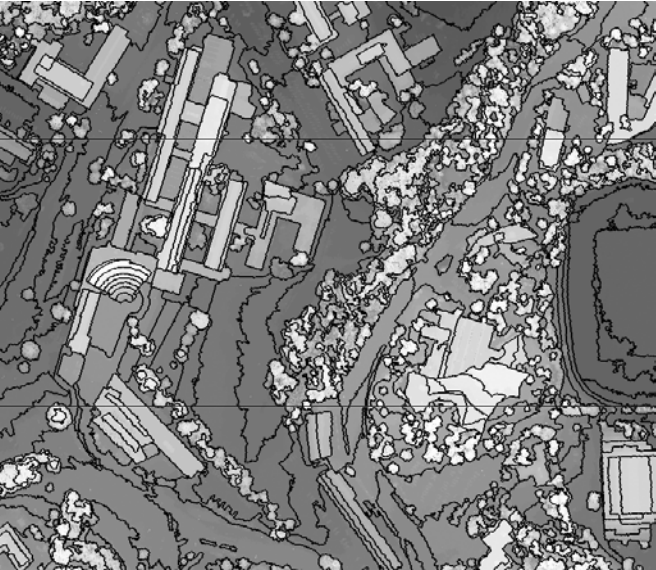
Rakennusten tunnistus

Rakennusten tunnistuksessa on tavoitteena löytää laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistosta rakennukset automaattisesti. Tuloksia voitaisiin käyttää lähtötietona rakennusten kartoituksessa, ajantasaisuudessa ja 3D-mallinnuksessa. Rakenn-

alueisiin. Aluepohjaisessa tulkinnaassa voidaan käyttää väri-informaation lisäksi monia muitakin alueiden ominaisuuksia, kuten muotoa, kokoa ja tekstuuria.

Hyväksi lähtökohdaksi alueiden muodostamiseen on osoittautunut laserkeilausaineistosta muodostettu rasterimuotoinen pintamalli (*digital surface model, DSM*), jossa kunkin pikselin arvona on sen korkeus. Pintamallissa näkyvät rakennukset, puut ja muut maanpintaa korkeammat kohteet sekä maanpinta siellä, missä korkeampia kohteita ei ole. Pintamalli voidaan aluepohjaista segmen-

tointia käyttäen jakaa korkeudeltaan suurinpiirtein yhtenäisiin alueisiin, joita sitten luokitellaan. Ensimmäinen vaihe luokittelussa on korkeiden segmenttien (käytännössä lähinnä puut ja rakennukset) erottaminen maanpinnasta ja matalista kohteista. Tässä voidaan hyödyntää laserpisteiden alustavaa luokittelua maanpintapisteisiin ja korkeisiin pisteisiin. Kun korkeat segmentit on löydetty, pitää vielä erottaa rakennukset puusta. Tässä voidaan käyttää muun muassa digitaalisten ilmakuvien eri kanavia ja niistä laskettua kasvillisuusindeksiä (lähi-



Pintamallin automaattinen segmentointi Otaniemessä.

infrakanavan ja punaisen kanavan erotus jaettuna niiden summalla), pintamallista laskettua tekstuuria tai kaltevuutta sekä segmenttien muotoa. Rakennuksille on tyypillistä, että ne ovat pintamallissa korkeudeltaan melko yhtenäisiä tai tasaisesti muuttuvia alueita. Puuston kohdalla sen sijaan osa laserpulsseista heijastuu puun latvasta, osa alemmaa puusta tai maanpinnasta, jolloin korkeusarvojen keskinäinen vaihtelu on suurta, mikä näkyy tekstuuri- ja kaltevuusmitoissa. Erilaisten ominaisuustietojen pohjalta voidaan kehittää luokittelusääntöjä. Tähän tarkoitukseen on sovellettu automaattista luokittelupuumenetelmää.

Rakennusten tunnistusmenetelmän implementoinnissa Geodeettisessa laitoksessa on käytetty suurelta osin kaupallisia ohjelmistoja. Segmentoinnissa ja segmenttien ominaisuustietojen laskennassa on käytetty *Definiens*-ohjelmistoa (*Definiens AG*) ja laserpisteiden maanpintaluokittelussa *TerraScan*-ohjelmistoa (*Terrasolid Oy*). Rakennusten ja puiden luokittelu perustuu *Matlab*-ohjelmistolla (*The MathWorks, Inc.*) kirjoitettuihin ohjelmaakodeihin.

nusten tarkkaa muotoa ja reunaviivaa ei tunnistusvaiheessa pyritä määrittämään. Tämä oletetaan tehtäväksi manuaalisesti tai sitä varten kehitetyllä automaattisella menetelmällä.

Rakennusten tunnistusta on kehitetty aluepohjaisia ja sääntöpohjaisia tulkintamenetelmiä soveltaen. Aluepohjainen tulkinta eroaa perinteisemmästä pikselipohjaisesta tulkinnaassa siten, että yksittäisten pikselien sijasta siinä tulkitaan alueita, jotka on saatu kuvan segmentoinnista. Segmentoinnissa kuva jaetaan sävyarvoiltaan yhtenäisiin osa-

Muutostulkinta

Muutostulkinnassa pyritään löytämään muuttuneet rakennukset automaattisesti ja luokittelemaan erityyppiset muutokset. Tavoitteena on, että tuloksia voitaisiin hyödyntää rakennuskarttojen ajantasaisuudessa. Myös edellä kuvatun rakennustulkinnan tulos kartan kanssa esitettynä antaa havainnollista tietoa muutoksista visuaalista tarkastelua varten. Erillinen muutostulkinta ei siis manuaalista ajantasaisuusprosessia ajatellen ole välttämätön, mutta todennäköisesti sen avulla voitaisiin edelleen helpottaa muutosten löytämistä ja ajantasaisettavien rakennusten valintaa. Muutostulkintamenetelmän kehittämisessä on ollut lähtökohtana oletus, että käytössä on uusi laserkeilaus- ja kuva-aineisto, jota verrataan olemassa olevaan karttaan. Muutostulkinta tehdään siis kartan ja tulkintatulosten välillä. Vaihtoehtoinen tapa olisi muutostulkinta kahden eriaikaisen laserkeilaus- ja ilmakuva-aineiston välillä.

Muutostulkinnassa verrataan rakennusten tunnistuksesta saatuja rakennuksia kartan rakennuksiin. Menetelmä käyttää rasterimuotoista lähtöaineistoa, mutta tulokset talletetaan myös tekstitiedostoina, joista ne voidaan siirtää attribuuttitiedoksi vektorikartoille. Toisiaan vastaavat rakennukset kartalla ja tulkintatuloksessa etsitään rakennusten päällekkäisyyksiä tarkastelemalla, ja muutostulkinta tehdään näiden vastaavuuksien perusteella. Luokkia ovat:

1. OK (ei muutosta): yksi rakennus kartalla vastaa yhtä rakennusta tulkinnaassa, ja nämä ovat keskenään samanlaisia. Samanlaisuuden mittausta perustuu joko rakennusten keskinäiseen peittävyteen tai bufferitarkasteluun, jossa tutkitaan mitä tulkintatuloksessa on kartan rakennuksen sisällä ja ulkopuolella. Kynnysarvot ovat käyttäjän määriteltävissä.
2. Muuttunut: yksi rakennus kartalla vastaa yhtä rakennusta tulkinnaassa, mutta nämä eivät ole samanlaisia.
3. Uusi: tulkintatuloksessa on rakennus, jota ei löydy kartalta.
4. Purettu: kartalla on rakennus, jota ei löydy tulkintatuloksesta.
5. 1-n/n-1: yksi rakennus kartalla vastaa useampaa rakennusta tulkintatuloksessa tai päinvastoin.
6. Ei luokiteltu pienen koon tai puuttuvan aineiston vuoksi.
7. Oletetaan olevan OK mutta puuston peitossa: Rakennus näyttää tulkintatuloksen perusteella purettulta tai pienemmältä kuin kartalla, mutta suuri osa siitä on luokiteltu puuksi.

Todennäköisesti kartan rakennus on siis ennallaan mutta puiden alla.

8. Oletetaan olevan OK mutta matala: Rakennus näyttää puretulta, mutta kyseinen kohta pintamallissa on ympäristöönsä korkeammalla. Todennäköisesti kartan rakennus on siis edelleen olemassa mutta matala, joten sitä ei ole alunperin luokiteltu korkeaksi kohteeksi.

Kartan rakennukset ja tulkintatuloksen rakennukset luokitellaan erikseen, mutta niin että luokat ovat vastaavia. Esimerkiksi muuttunut rakennus saa molemmissa aineistoissa luokakseen 2. Luokittelusta voidaan muodostaa erilaisia tuloskuvia visuaalista tarkastelua varten. Voidaan esimerkiksi ottaa uudet ja muuttuneet rakennukset tulkintatuloksesta ja muut rakennukset kartalta. Muutostulkintamenetelmä on implementoitu Matlab-ohjelmistolla.

Testituloksia

Geodeettisen laitoksen tutkimusalueena menetelmäkehityksessä ja testauksessa on ollut pääasiassa Espoonlahti, alkuvaiheessa myös Otaniemi. Espoonlahti on esikaupunkialuetta, jossa on useita erityyppisiä osa-alueita ja monenlaisia rakennuksia pientaloista teollisuushalleihin. Maasto on korkeudeltaan vaihtelevaa, ja kasvilisuutta on melko runsaasti. Rakennustulkintamenetelmää on testattu EuroSDR (European Spatial Data Research) -projektin yhteydessä myös testialueilla Ranskassa ja Tanskassa.

Rakennustulkintojen tarkkuutta on arvioitu vertaamalla niitä ajantasaiseen kartta-aineistoon pikseleittäin. Tarkkuus on ollut noin 85–90 %. Todellinen tarkkuus on tätä parempi, kun otetaan huomioon, että rakennukset eivät ole täysin samanlaisia ilmasta katsottuna kuin kartalla. Huomattava ero yleistyksen lisäksi on, että ilmasta nähdään kattojen reunat, kun taas kartalla on esitetty sokkelien sijainti. Tarkkuutta on arvioitu myös rakennuksittain laskemalla, kuinka suuri osuus kartan rakennuksista löytyy ja kuinka suuri osuus tunnistetuista rakennuksista on rakennuksia myös kartalla. Tulokset riippuvat selkeästi rakennusten koosta. Suuremmat rakennukset löytyvät erittäin hyvin. Virheitä esiintyy lähinnä pienissä rakennuksissa.

Uusimmassa Geodeettisen laitoksen tutkimuksessa käytettiin Optech-laserkeilausaineistoa (pistetiheys yhden laserlinjan peittämillä alueilla noin 2–4 pistettä/m²) ja DMC (Digital Mapping Camera)-kameralla otetuista ilmakuvista muodostettua ortokuvamosaikkia. Es-

poonlahdessa sijainneiden testialueiden yhteispinta-ala oli 4,5 km². Vertailuaineistona tulosten tarkkuuden arvioinnissa käytettiin Espoon kaupungin kantakartasta johdettua rasterikarttaa. Kartan/tulkintatuloksen rakennus katsottiin oikein tunnistetuksi, jos sen pinta-alasta vähintään 50 % oli rakennusta tulkintatuloksessa/kartalla. Kartalla oli 1 128 pinta-alaltaan yli 20 m²:n rakennusta, ja näistä 89 % oli oikein tunnistettu (tulkintatarkkuus). Tulkintatuloksissa oli 1 210 rakennusta, joista oikeita rakennuksia oli 86 % (kohdetarkkuus). Kun tarkasteltiin vain yli 60 m²:n rakennuksia, sekä tulkinta- että kohdetarkkuus nousivat 96 %:iin. Virheitä esiintyi lähinnä erityistilanteissa, kuten rinteeseen rakennetuissa ja osittain maan tasalla olevissa pysäköintihalleissa. Pienimmissä rakennuksissa virheitä aiheutti esimerkiksi se, että katoksia, teollisuuskontteja ja busseja oli tulkittu rakennukseksi. Toisaalta kartalla esitetyt pienet rakennukset, kuten pihavarastot, olivat usein matalia ja puiden alla.

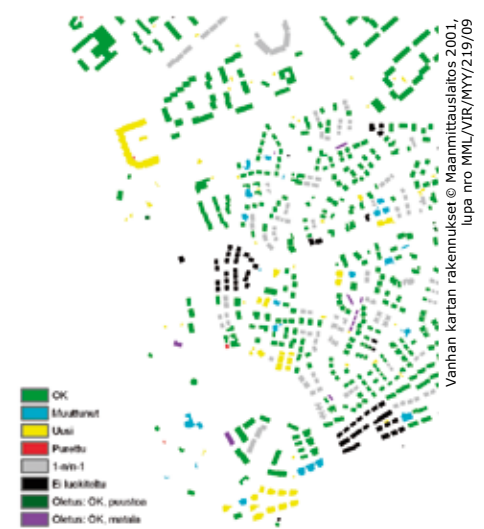
Edellä kuvattujen rakennustulkintatulosten pohjalta testattiin myös muutostulkintamenetelmää. Vanhana karttana käytettiin laser- ja kuva-aineistoja muutama vuotta vanhempaa versiota Maastotietokannan rakennuksista rasterimuotoon muunnettuna. Vertailuaineistoksi tulosten arviointia varten tehtiin muutostulkinta vanhan kartan ja ajantasaisen kartan välillä. Arviointi osoitti, että muutostulkinnassa todelliset muutokset löydettiin melko hyvin ja tässäkin tulokset yleensä paranivat rakennusten koon kasvaessa. Esimerkiksi kaikista (≥ 20 m²) uusista rakennuksista tunnistettiin uusiksi 69 % ja yli 60 m²:n rakennuksista noin 90 %. Myös tässä tapauksessa monet virheet liittyivät erityistilanteisiin. Todellisten muutosten lisäksi muutostulkinnassa löydettiin myös virheellisiä muutoksia. Näiden määrä oli 18 % kaikista rakennuksista. Käytännön ajantasaisuustyössä nämä rakennukset vaativat visuaalista tarkastusta, vaikka eivät olekaan muuttuneet. Toisaalta 51 % kartan rakennuksista voitiin automaattisesti luokitella muuttumattomiksi, eli ne voitaisiin ajantasaisuudessa sivuuttaa.

Aineistojen vaikutus

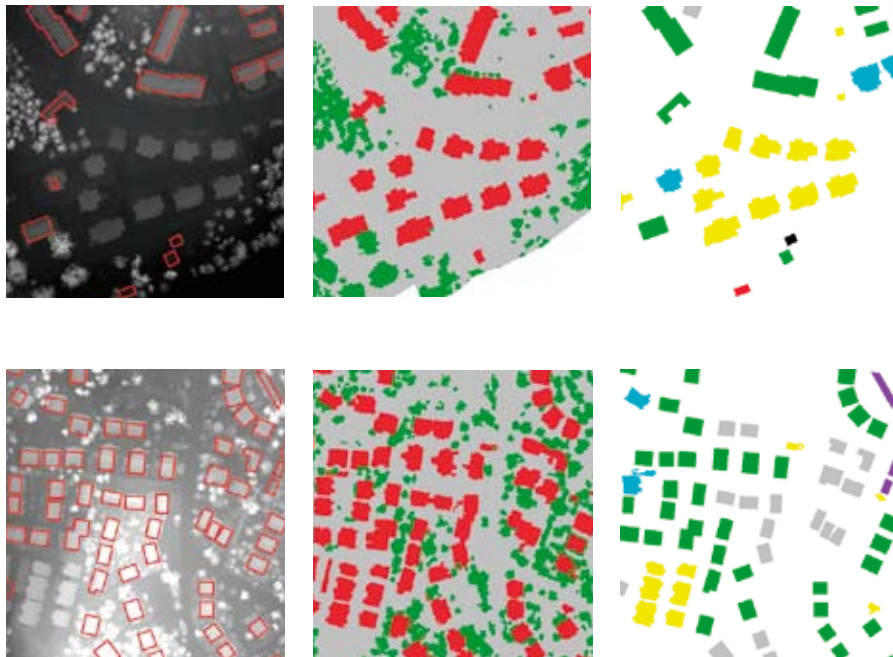
Käytetty aineisto vaikuttaa rakennustulkinnan tuloksiin, mutta hyviä tuloksia on saatu useilla erilaisilla aineistoilla. Edellä kuvatussa tutkimuksessa laseraineisto oli keilattu kesällä, jolloin puut olivat lehdessä. Ilmakuvat olivat alkusyksyiltä. Ortokuvan käyttö luokittelussa paransi tuloksia selvästi pelkästään laseraineis-



Automaattisesti tunnistetut rakennukset, puusto ja maanpinta Laurinlahdessa.



Automaattisen muutostulkinnan tulos Laurinlahdessa. Uudet ja muuttuneet rakennukset on otettu rakennustulkinnan tuloksesta, muut vanhalta kartalta.



Laurinlahden rakennuksia. Vasemmalla pintamalli ja vanhan kartan rakennukset, keskellä automaattisen rakennustulkinnan tulos ja oikealla automaattisen muutostulkinnan tulos.

toon perustuneisiin tuloksiin verrattuna. Aiemmassa tutkimuksessa käytettiin tiheämpää TopoSys-aineistoa (noin 10 pistettä/m²), joka oli kuvattu lähes lehdettömään aikaan keväällä. Ilman ilmakuvaa-aineistoa päästiin vastaavaan pikselipohjaiseen tarkkuuteen kuin Optech- ja DMC-aineistolla. Tässä tutkimuksessa oli käytössä skannatuista väri-ilmakuvista muodostettu ortokuva, mutta sen käyttö ei parantanut tulkintatuloksia.

Rakennustulkintaa ajatellen paras keilausajankohta on lehdettömään aikaan, jolloin puuston vaikutus on pienempi. Puiden alla olevat rakennukset erottuvat paremmin, ja rakennusten vieressä oleva kasvillisuus ei yhdisty tulkinnassa niin helposti rakennuksiin. Myös ilmakuvien osalta lehdettömään aikaan otetut kuvat ovat hyviä rakennusten näkyvyyden vuoksi. Toisaalta jos tulkinnassa halutaan käyttää esimerkiksi kasvillisuusindeksiä, puiden pitäisi olla lehdessä.

Yhteistyössä Maanmittauslaitoksen kanssa rakennustulkintaa testattiin Espoonlahdessa myös harvaa laseraineistoa (noin 0,4 pistettä/m²) ja DMC-ortokuvaa käyttäen. Rakennukset löytyivät hyvin tällöinkin (J. Kareinen 2008, diplomityö). Tulkittujen rakennusten muoto on kuitenkin parempi, jos käytetään tiheämpää aineistoa. Tulokset EuroSDR-projektin testialueilta Ranskassa (Marseille) ja Tanskassa (Lyngby) osoittivat, että menetelmä toimi kohtuullisen hyvin alueilla ja aineistoilla, jotka poikkesivat selvästi Espoonlahden testeistä. Marseillen alueella pintamalli oli laserkeilauksen sijasta tuotettu ilmakuvista.

Sovellukset ja jatkokehitys

Rakennusten automaattinen tunnistus laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistoista onnistuu siis hyvällä tarkkuudella ainakin Espoonlahden kaltaisella esikaupunkialueella. Virheitäkin esiintyy, mutta lähinnä pienissä rakennuksissa ja ongelmallisissa tapauksissa, joiden oikea tulkinta automaattisesti ja ehkä toisinaan visuaalisestikin on vaikeaa. Myös muutostulkintatulokset kartan ja rakennustulkintojen välillä olivat lupaavia. Todelliset muutokset löydettiin melko hyvin, ja suuri osa rakennuksista voitiin todeta muuttumattomiksi. Vaikuttaa siis todennäköiseltä, että automaattisista tulkintamenetelmistä voisi olla hyötyä käytännön kartoitustyössä.

Tässä artikkelissa tarkastellaan rakennuksia, mutta rakennusten kanssa samassa tulkinnassa erottuu myös puusto omaksi luokakseen. Paitsi rakennusten kartoitukseen, tuloksia voitaisiin siis hyödyntää puuston ja metsäalueiden rajaukseen. Maanpintaluokka voidaan myös jakaa edelleen kasvillisuuden peittämään ja kasvittomaan alueeseen kasvillisuusindeksin avulla. Tällaista tulosta voitaisiin siis mahdollisesti käyttää esimerkiksi teiden kartoituksessa.

Mahdollisuudet automaattisten tulkintamenetelmien kehittämiseen ja hyödyntämiseen kasvavat entisestään tulevaisuudessa, kun käytettävissä on sekä vanhoja että uusia laser- ja ilmakuva-aineistoja. Esimerkiksi jo pelkkä erotuskuvaa kahden pintamallin välillä antaa havainnollista tietoa muutoksista. On myös huomattava, että laserkeilaus ei ole ainoa vaihtoehto

pintamallien muodostamiseen. Niitä voidaan tehdä automaattisesti myös ilmakuvista, joskin tällaisten mallien laatu tulkintaa ajatellen saattaa olla heikompi kuin lasermallien.

Kiitokset

Kirjoittaja haluaa kiittää kaikkia henkilöitä ja organisaatioita, jotka ovat osallistuneet tai myötävaikuttaneet tutkimukseen. Eri-tyisesti mainittakoon **Juha Hyypä**, **Harri Kaartinen**, **Xinlian Liang**, **Eero Ahokas** ja **Lauri Markelin** Geodeettisesta laitoksesta, **Juha Kareinen** Maanmittauslaitoksesta, **Nicolas Champion** IGN:stä (Institut Géographique National, Ranska) sekä **Hannu Hyypä** Teknillisestä korkeakoulusta.

Kirjoittaja on tekniikan lisensiaatti ja erikoistutkija Geodeettisessä laitoksessa Kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osastolla.
Sähköposti
leena.matikainen@fgi.fi