

© Hannu ja Juha Hyyppä

# KANSALLISEN LASERKEILAUKSEN MAHDOLLISUUDET

Laserkeilauksen avulla voidaan Suomesta kustannus-  
tehokkaasti tuottaa 30 cm:n korkeustarkkuudel-  
la korkeusmallia. Samaa aineistoa voitaisiin käyttää  
metsien inventoinnin, tulvasuojelun, radiolinkki-  
suunnittelun, karttojen ja useimpien paikkatieto-  
aineistojen päivittämiseen sekä muutosten seurantaan.

**Vuonna 2007** laserkeilaus on vakiin-  
tunut menetelmä yksityiskohtaisen  
topografisen tiedon hankintaan. Laser-  
keilaimien, differentiaalisen paikannus- ja  
navigointijärjestelmien (dGPS) ja lento-  
koneiden asennon ja kallistuksen seu-  
raamisjärjestelmien (inertiajärjestelmät,  
IMU) kehityksen myötä ilmasta tehtävä

laserkeilaus on saavuttanut merkittävää taloudellista suorituskykyä ja saavuttanut aseman, joka on kiinnostava myös useiden sovellusalojen kannalta.

### Etuna suurempi pistetiheys

Laserkeilauksen etuna perinteiseen fotogrammetriseen mittaukseen verrattuna ovat merkittävästi suurempi pistetiheys ja menetelmän vähäisempi riippuvuus sääolosuhteista. Perinteinen fotogrammetria edellyttää, että sama piste näkyy kahdelta ilmakuvulta, minkä vuoksi peitteisiltä alueilla hajapisteitä saadaan tyypillisesti kymmenien metrien välein. Laserkeilaimella saadaan useita näytteitä jopa neliometriä kohden ja tiheimmissäkin metsissä kahden pisteen välinen etäisyys on Suomen olosuhteissa yleensä pienempi kuin 10 m. Peitteisillä alueilla laserkeilauksen tuottama maan pinnan malli on ylivertainen. Aktiivisena laitteena laser ei vaadi auringonpaistetta ja mittauksia voidaan siten tehdä myös yöaikaan.

Laserkeilauksen tutkimus, ohjelmistokehitystyö ja kaupallistaminen aloitettiin Suomessa 10 vuotta sitten. Vuonna 2002 markkinat olivat jo useiden miljoonien eurojen suuruiset ja olivat jo yksistään

suuremmat kuin yritysten kaupallinen toiminta satelliittikuvien kanssa. Laserkeilausta voidaan siten pitää merkittävänä kasvualana geoinformaatiosektorilla. Suomessa suurin kaupallinen potentiaali on tähän asti ollut väylien ja kaupunkien laserkeilaus. Metsäsektorilla on tehty merkittävän kokoisia koetöitä viime vuosina ja tarkoituksena on aloittaa operatiivinen käyttö vuosikymmenen loppuun mennessä. Suomessa laserkeilauksen käyttöönotto on ollut hitaampaa kuin Keski-Euroopassa. Euroopassa useat maat, kuten Alankomaat ja Sveitsi, on kokonaisuudessaan keilattu laserilla. Yhdysvalloissa useat osavaltiot on keilattu tai suunniteltu keilattavan lähiaikoina.

### Kansallisesti monikäyttöinen lähtöaineisto

Myös Suomessa on viime aikoina alettu keskustelemaan kansallisesta laserkeilauksesta vakavasti osana korkeusmallin parantamista ja tulvakartoitusta. Jos Suomi toteuttaa laajamittaisen laserkeilauksen, sen tavoitteena on tuottaa monikäyttöinen lähtöaineisto useisiin kansallisesti tärkeisiin paikkatietosovelluksiin, kuten valtakunnalliseen korkeusmalliin, puuston inventointiin ja puuston kasvun mittaamiseen, tietoliikenteen verkkosuunnitteluun, kiinteistötalouteen, vesistöjen rehevöitymisen estämiseen (veden pinnan nosto), tulviin varautumiseen, virtuaalitodellisuuteen, kaupunkimalleihin, maastotietokantaan, ympäristövaikutusarviointiin, yhdyskuntatekniikan ja rakentamisen suunnittelun lähtöaineistona, karttojen ajantasaistukseen ja muiden kansallisten paikkatietoaineistojen lähtöaineistona. Aineiston tuottamisen lisäksi näiden lisäarvotuotteiden tuottaminen

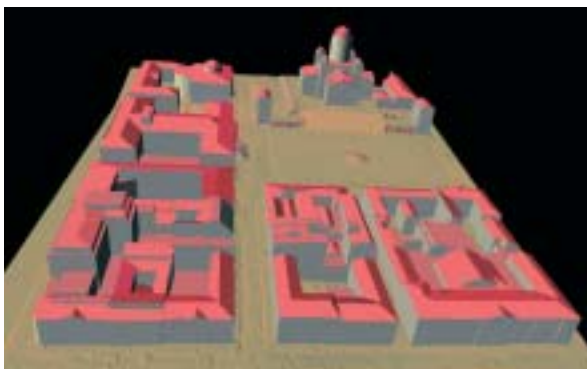
on merkittävä markkina suomalaiselle geometiikka-alan teollisuudelle. Voisikin sanoa, että kansallinen laserkeilaus on tuhtaan taalan paikka teollisuudellemme ja se tulee toteuttaa alan yritystoiminnan kehittämiseksi.

### Harvapisteisellä mallilla kustannustehokkuutta

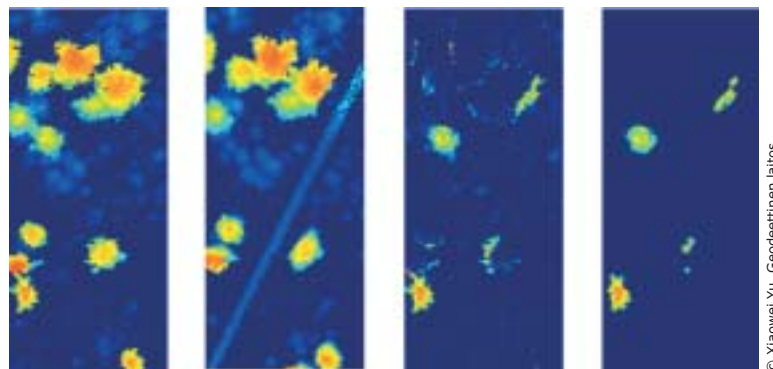
Laserkeilain tuottaa kohteesta maastopistetiedoston useimmiten ensimmäisen ja viimeisen kaiun perusteella. Laserkeilainten uudet ominaisuudet kuten jatkuva aallonmuoto (waveform) ja intensiteettitiedon kalibrointi yhdessä suurien pulsintoistotaajuuksien kanssa parantavat entisestään laserkeilainten suorituskykyä ja pistepilvistä muodostettujen mallien käytettävyyttä. Pulssintoistotaajuus on kehittynyt ja kehitty edelleen nopeasti. 1990-luvun alussa pulssintoistotaajuus oli 2 kHz ja vuonna 2004 se oli 100 kHz. Viimeksi julkistettujen uusien keilaimien toistotaajuus on luokkaa 200 kHz. 2010-luvun alussa on realistista ajatella, että kohde saadaan kuvattua erittäin kustannustehokkaasti noin 2 pistettä neliometriä kohden. Pyrimme seuraavassa kuvaamaan mitä tällaisen aineiston avulla saisi aikaan perustuen Geodeettisen laitoksen ja Teknillisen korkeakoulun Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorion tekemiin kontrolloituihin laatuutkimuksiin vuosina 1997–2006. Tämän hetken suunnitelmien mukaan kansallista laserkeilausta suunnitellaan toteutettavan mahdollisimman harvana (luokkaa 0,5 pistettä/m<sup>2</sup>) kustannustehokkuutensa vuoksi. Jo tälläkin tiheydellä päästään noin 30 cm:n satunnaiseen korkeusvirheeseen maanpinnan mallille metsäalueilla.

### LASERKEILAUKSEN PERIAATE.

Keilaimen avulla pulsseja poikeutetaan ja kulkuajan perusteella lasketaan etäisysero.



Senaatintorilta tehty 3D-malli. © George Vosselman, ITC, Geodeettisen laitoksen koordinoimassa EuroSDR:n hankkeessa Building Extraction. Aineiston tiheys 1,6 pistettä neliöllä.



Vasemmalta oikealle: a) laserkeilaimella tuotettu puuston pituusmalli vuodelta 1998, b) laserkeilaimella tuotettu puuston pituusmalli vuodelta 2000, c) vuosien 1998 ja 2000 kuvien erotuskuva, d) suodatettu erotuskuva, joka kuvaa kahta kaadettua puuta ja karsittuja oksia. Aineiston pistetiheys 10 pistettä neliöllä.

© Xiaowei Yu, Geodeettinen laitos

## Peitteisyys vaikuttaa tarkkuuteen

Tutkimuksemme mukaan tärkein tekijä, joka vaikuttaa maan pinnan mallin tarkkuuteen, on kasvillisuus ja erityisesti puusto. Niinpä mittaustarkkuus vaihtelee puuston tiheyden, jopa puulajin, osin pinnan kaltevuuden, käytetyn vuodenajan (lehdettömän vai lehdellisen ajan kuvaus) ja myös aluskasvillisuuden funktiona. Keskimääräinen tarkkuus suomalaisessa metsämaastossa optimaalisesti tehdyllä esiprosessoinnilla olisi 20 cm:n luokkaa (hajonta 18 cm ja harha noin 5 cm) ja kovilla pinnoilla (asfaltti, soratiet) kaupunkiolosuhteissa tyypillisesti 10 cm:n luokkaa. Suurimmat virheet tapahtuisivat tiheissä rinnekuusikoissa, kesäajan lehtimetsäkeilauksissa ja tuuhean aluskasvillisuuden metsissä. Esimerkiksi tiheän varvikon tai saniaisten takia maanpinnan malli siirtyy näiden pituuden verran ylöspäin. Optimaalisin keilausajankohta olisi lumen sulamisen jälkeinen kevät, mutta lehtien tulo puihin heikentää mallin tarkkuutta vain noin 20–30 % metsäolosuhteissa (poikkeuksena tuuheat koivikot). Sen sijaan peltoviljelyiden vuoksi tarkan mallin keilauksia ei tulisi tehdä kesäkuun puolenvälin ja elokuun lopun välillä.

Rakentamisen ja yhdyskuntatekniikan osalta kansallinen laserkeilaus parantaisi huomattavasti yleissuunnittelun tasoista suunnittelua ja antaisi suurta tarkkuutta kustannusten hallintaan koko rakentamisen elinkaaren aikana ja tarkahkon suunnittelukohteen maastomallin.

## Mahdollisuus ympäristömuutosten seurantaan

Mitä eroa sitten olisi, tuotettaisiinko Suomesta keilaus tiheydellä 0,5 pistettä/m<sup>2</sup> vai 2 pistettä/m<sup>2</sup> (tai jopa tiheämpi)? Jälkimmäinen on kustannuksiltaan tällä hetkellä vähintäänkin kaksinkertainen. Ero syntyy siitä, miten Suomessa jatkossa on tarkoitus hoitaa esimerkiksi karttojen ajantasaistus, puuston kasvun mittaus tai jopa ilmaston muutosten arviointi. Oman käsityksemme mukaan, jos Suomi keilataan 2010-luvulla maastomallin ja tulvavaarakartoituksen tarpeiden ja osin metsäinventoinnin vuoksi, Suomi tullaan keilaamaan 2020-luvulla muutosten seuraamisen vuoksi. Muutostulkinta on sitä tehokkaampaa, mitä lähempänä eri aineistojen vastaavuus on toisiaan. Yhden ajankohdan keilaus 2 pistettä/m<sup>2</sup> mahdollistaa rakennusten sokkelien määrittämisen lähitulevaisuudessa lähes automaattisesti noin 1 m:n tarkkuudella ja useimpien

valtapuiden pituuden mittaamisen 70 cm:n tarkkuudella ja valtapuuston sijainnin yksittäisen puun tasolla 0,5 m:n tarkkuudella. Suomesta voisi siis tehdä virtuaalimallin kohtuullisella tarkkuudella. Muutostulkinta 2020-luvun Suomessa olisi tällöin mahdollista tehdä lähes täysiautomaattisten muutostulkintamenetelmien avulla. Kartan ajantasaistus olisi työmäärältään edullista ja sivutuotteena saataisiin selville puittemme todellinen kasvu, välillä yksittäisen puun tarkkuudella. Geodeettinen laitos on mittausiltaan ja menetelmillään osoittanut, että 10 pistettä/m<sup>2</sup> -tiheyksisellä laseraineistolla puun kasvu voidaan määrittää 0,5 m:n tarkkuudella ja jopa yksittäisten oksien katkeaminen/leikkaaminen voidaan todeta muutokuvista (ks. ed. sivu). Samalla tavoin voitaisiin mitata kaikki merkittävät muutokset maan pinnan ja kohteiden välillä. Sivutuotteena tämä antaisi lisätietoa ilmaston muutoksen vaikutuksista puustoomme. Pitkillä aikasarjoilla puustorajan siirtyminen tuntureilla antaisi lisäkäsitystä ilmastomuutoksesta.

Juha Hyypä on TkT, professori ja Kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osaston johtaja Geodeettisessä laitoksessa sekä dosentti TKK:ssa ja Helsingin yliopistossa, Hannu Hyypä on TkT ja akatemiatutkija sekä dosentti TKK:ssa. Sähköposti juha.hyypa@gfi.fi ja hannu.hyypa@tkk.fi.



ICAn presidentti Milan Konečný (vas.), SKS:n puheenjohtaja Antti Jakobsson, juhlaesitelmän pitänyt professori Liqiu Meng (selin) ja ICan varapresidentti, professori Kirsi Virrantaus SKS:n 50-vuotisjuhlan tunnelmissa.

**Paikkatieto on tuotava käyttäjien ulottuville ja sellaisessa muodossa, että se vastaa tietotarpeisiin ja sen voi ymmärtää, kiteytti kansainvälisen kartografisen seuran ICan presidentti Milan Konečný tammikuisella Suomen-vierailullaan.**