



Laserkeilaus helikopterista suunnitteluhankkeilla

UUDENTYYPPISTÄ TIEDONKERUUTEKNOLOGIAA

Tauno Suominen Laserkeilaus mahdollistaa erittäin tehokkaan ja nopean maastotiedon keruun ja menetelmä on kustannustehokas varsinkin suurilla hankkeilla. Menetelmän etuna on se, että hyvin lyhyessä ajassa voidaan maastosta kerätä valtava määrä tietoa, josta jälkikäsitteilynä voidaan muodostaa hyvin vaihteleva määrä erilaisia tuotteita.

Laserkeilaus helikopterista on uusi tiedonkeruumenetelmä, jota sovellettiin ensimmäisen kerran vuoden 1998 syksyllä ja 1999 keväällä valtatie 1:n suunnitteluhankkeella välillä Lohja–Suomusjärvi. Syksyllä 1999 laserkeilausta sovellettiin useilla eri alojen pilottihankkeilla, joista liikennealan kannalta kiinnostava on Helsinki-Vantaan lentoasemalla suoritettu maaston mallinnus ja lentoesteiden mittaus.

Laserkeilaus mahdollistaa erittäin tehokkaan ja nopean maastotiedon keruun ja menetelmä on kustannusteho-

kas varsinkin suurilla hankkeilla. Menetelmän etuna on se, että hyvin lyhyessä ajassa voidaan maastosta kerätä valtava määrä tietoa, josta jälkikäsitteilynä voidaan muodostaa hyvin vaihteleva määrä erilaisia tuotteita. Isoissakin hankkeissa voidaan tarvittaessa päästä hyvinkin nopeisiin aikatauluihin.

Laserkeilaustekniikassa hyödynnetään kolmea eri teknologiaa, GPS-paikannusta, inertiapaikannusta ja laseretäisyydenmittausta. GPS-paikannusta käytetään mittauslaitteen paikantamiseen koordinaattijärjestelmässä. Inertiatekni-

kalla suoritetaan paikannus GPS-paikannuspisteiden välillä ja määritetään mittauslaitteen kiertokulmat avaruudessa. Laseretäisyydennäkömittarilla mitataan sitten näin paikannetusta keilaimesta etäisyydet kohteisiin.

Laserkeilausta voidaan suorittaa joko lentokoneesta tai helikopterista. Helikopteri soveltuu paremmin suurta tarkkuutta ja yksityiskohtaisuutta vaativien kohteiden mittaukseen, lentokone soveltuu suurten alueiden likimääräisempään mittaukseen.

Laitteisto muodostaa kolmiulotteisen

pistejoukon, joka voidaan muuntaa haluttuun koordinaattijärjestelmään. Näin saadaan aikaan epäsäännöllisestä korkeuspisteistöstä koostuva maastomalli. Tätä maastomallia voidaan käyttää sellaisenaan monissa ohjelmistoissa, joissa maaston mallinnus perustuu epäsäännöllisen kolmioverkon käyttöön. Pisteistöstä voidaan myös muodostaa säännölliseen ruudustoon perustuvia korkeusmalleja, joilla on omat sovel-lusalueensa.

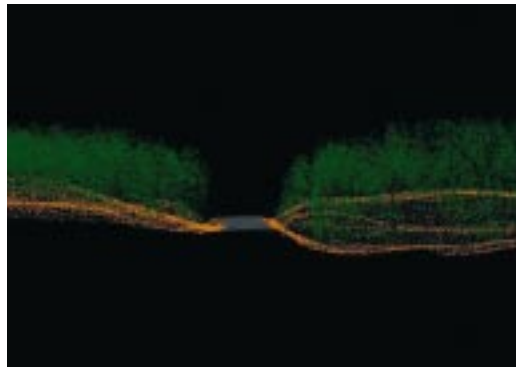
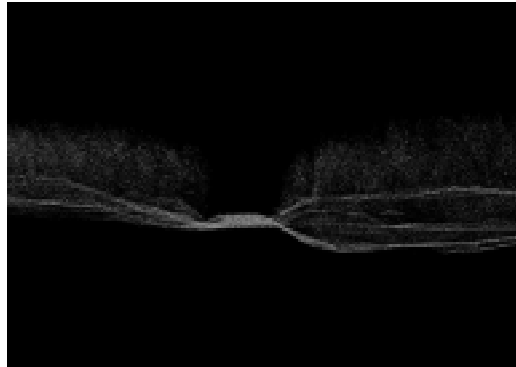
Tielaitoksen hankkeilla keilaukset on suoritettu helikopterilla käyttäen laitteistoa, joka Ruotsissa kehitettiin alun perin sukellusve-neiden etsintään. Sukellus-veneiden etsintään käytetyssä laitteistossa on hyvin tehokas laser, koska tarkoitus on mitata ve-den alla olevia kohteita. Ruotsalaisten laitteistolla oli mahdollista mitata jopa 40 metrin syvyydessä olevia kohteita. Tällaisten tehojen käyttö ei tietenkään ole mahdollista asutuilla alueilla, joten laitteis-tosta on kehitetty pienempi-tehoinen siviiliversio, joka soveltuu maanpäällisten kohteiden mit-taamiseen.

Tekniikan soveltaminen aloitettiin maastomallien täydentämisestä

Maastomallien peitteisten alueiden täydentäminen on vuosikausia ollut on-gelma, johon ei ole löydetty kunnollista ratkaisua. Käytännössä ainoa soveltuva tekniikka on ollut maastossa suoritettu takymetrimittaus. Isossa hankkeessa, jos-sa maasto on erittäin peitteinen, työmää-rä ja tätä myötä kustannukset nousevat

erittäin suuriksi. Pahin ongelma on kui-tenkin nykyisten dynaamisesti etenevien hankkeiden aikataulut, jotka eivät enää salli kuukausien mittaisia maasto-inventointeja.

Laserkeilausta sovellettiin Valtatien 1 Helsinki–Turku suunnittelussa foto-grammetrisesti mitatun maastomallin täydentämiseen välillä Lohja–Suomus-järvi. Alue on pääosin erittäin metsäistä



Poikkileikkaus luokittelemattomasta aineistosta (ylhäällä) ja sama tieto luokit-telun jälkeen.

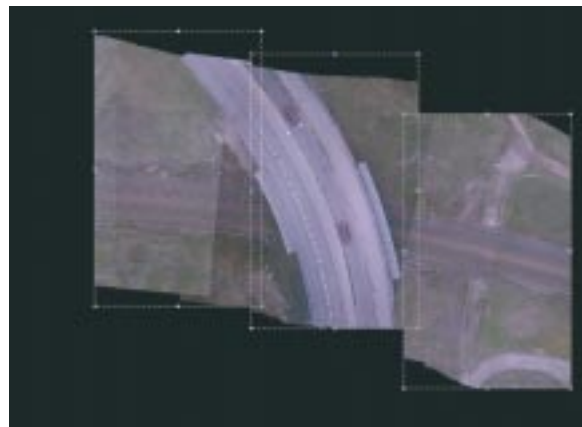
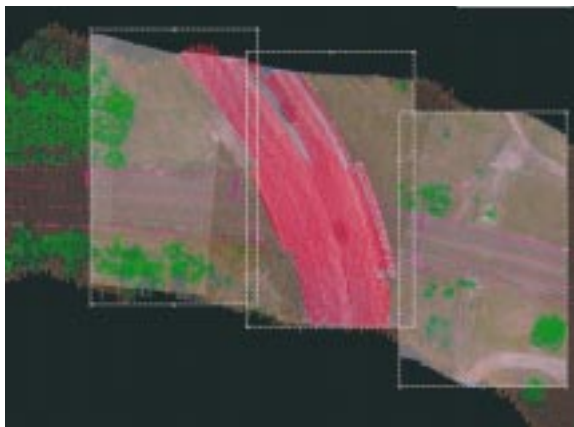
Keilauksen suunnittelu

sisältäen myös kallioalueita ja yli sadan metrin korkeuseroja. Asutusta ja raken-nuksia alueella on suhteellisen vähän, ainoastaan joitakin peltoalueita. Hank-keen pituus oli 45 km ja keskimääräinen leveys 300 metriä. Leveimmillään alue oli Lahnajärven kohdalla, noin 900 met-riä. Alueelta, jonka pinta-ala oli noin 1 500 hehtaaria, oli aiemmin muodos-tettu maastomalli fotogrammetrisesti. Metsäalueet olivat jääneet ilmaku-vilta suurelta osin kartoittamatta peitteisyyden takia.

Tällä suunnitteluhankkeella ta-vanomaisten tiedonkeruutekniik-koiden kanssa oltiin umpikujassa. Fotogrammetrinen mittaus ei tar-jonnut paljon apua maaston peit-teisyyden takia. Tarvittavat maas-tomittaukset olisivat vaatineet kymmeniä maastoryhmiä ja vieneet useita kuukausia. Ajankohta syk-syllä 1998 oli myös hankala, koska talvi oli tulossa. Maastomallien maastotäydennykset eivät onnistu talvella lumisena aikana.

Edellisenä vuonna olin Ruotsis-sa tutustunut Saabin kehittämään keilauslaitteistoon ja nyt tuntui ole-van oikea aika lähteä soveltamaan tätä tekniikkaa. Muodostimme han-ketta varten T & K -projektin, koska ymmärsimme asiaan liittyvät vai-keudet ja kehittämistarpeet. Keila-ukset suoritettiin marraskuussa 1998 ja toukokuussa 1999.

Aluerajaus määritettiin kkj-koordinaatis-tossa ja muunnettiin WGS84-järjestelmän maantieteellisiksi koordinaateiksi. Len-nonsuunnitteluohjelmisto käyttää tätä koordinaattijärjestelmää ja lisäksi pilo-



Laseraineiston avulla oikaistu ortokuva (vasemmalla) ja ortokuva ilman laseraineistoa.

tin ohjausjärjestelmä toimii samassa koordinaatistossa.

Lentosuunnitelma perustuu aluerajaukseen ja seuraaviin parametreihin:

- lentokorkeus
- laserin keilauskulma
- laserin keilan leveys.

Lentokorkeus vaikuttaa saavutettavaan tarkkuuteen ja keilausaikaan. Yhdellä lentolinjalla saatava hyötyleveys riippuu lentokorkeudesta. Laserin keilauskulma on valittava pieneksi (10 astetta) mitattaessa kasvillisuuden peittämiä alueita. Suurta keilauskulmaa käytettäessä suuri osa lasersäteistä osuu puihin ja näin maanpinnasta saadaan vain vähän osumia. Laserin keilan leveys vaikuttaa pinnan mittaukseen ja säteen läpäisevyyteen. Kun halutaan metsäisellä alueella läpäistä puusto mahdollisimman hyvin, käytetään mahdollisimman kapeata keilaa.

Alue lennettiin ensimmäisen kerran marraskuun lopussa 1998 ja toisen kerran toukokuussa 1999. Ensimmäisellä kerralla lentosuunnitelma tehtiin niin, että lennettiin alue suorakaiteen muotoisina laatikoina ja suorina lentolinjoina perinteisen ilmakuvausten tapaan. Tässä menetelmässä joudutaan kiemurtelevalla alueella lentämään huomattavan paljon linjoja ja työmäärä kasvaa merkittävästi. Keväällä 1999 suoritettussa lennossa lentolinjat suunniteltiin kulkemaan alueen mukaisesti mutkaisina. Tällä menetelmällä lentolinjojen kokonaismäärä pienenee merkittävästi, eikä helikopterin kannalta mutkainen lentolinja ole ongelma.

Hankkeen alueella oli paikallisesti jyrkkiä, usean kymmenen metrin korkeusvaihteluita, joten aivan alimpia mahdollisia lentokorkeuksia ei voitu käyttää. Lentosuunnitelma laadittiin käyttäen hieman alle 200 metrin lentokorkeutta.

Tekniikkaa oli opeteltava kantapään kautta

Alue lennettiin ensimmäisen kerran marraskuun lopussa 1998. Tällöin käytettiin Malmin lentoasemalta toimivan Copter Action -helikopteriyrityksen Eurocopter-helikopteria, johon TopEyen laitteisto installoitiin. TopEyen spesifikaatioiden mukaan installointi voidaan suorittaa kahdessa tunnissa, mutta ainakin ensimmäisellä kerralla osittain tottumattomalta henkilöstöltä siihen meni huomattavasti

enemmän aikaa.

Copter Action -yrityksen piloteilla ei ollut aikaisempaa kokemusta TopEyen kanssa. Tämä aiheutti melko paljon ongelmia lentosuunnitelman noudattamisessa. Lentosuunnitelma oli tehty perinteisen ilmakuvausten periaatteella käyttäen suoria lentolinjoja. Tämä johti mutkaisella alueella melko suureen määrään ylimääräisiä lentolinjoja.



Yksityiskohta kuvamosaiikista, pikseli=10 cm (ylhäällä) ja sama alue, pikseli=2 cm.

Sääolosuhteet olivat ensimmäisellä keilauskerralla mahdollisimman epäsuotuisat. Heti ensimmäisenä päivänä alkoi lumisade, joka esti käytännössä lentämisen. Seuraavana päivänä ongelmana oli alhainen pilvikorkeus, joka ei sallinut nousta tarvittavaan 200 metrin lentokorkeuteen. Toisena lentopäivänä kuitenkin saatiin keilattua merkittäviä alueita. Kolmantena lentopäivänä oli hyvä lentosää, mutta maastossa oli jo pitkälti yli 10 cm uutta lunta. Tämän ei kuitenkaan arvioitu haittaavan peitteisten alueiden mittaamista, koska synkissä kuusikoissa ei maanpinnalla ollut juurikaan lunta. Kaikki lumi oli puiden oksilla, minkä arveltiin vaikuttavan laserin läpäisykykyyn.

TopEye-järjestelmään kuuluu pilotin navigointijärjestelmä, joka käyttää eril-

listä GPS-vastaanotinta ja differentiaalikorjausta. Navigointijärjestelmän tarkkuus on 3–5 metriä. Tottumattomilla piloteilla oli vaikeuksia järjestelmän avulla lentämisessä, mikä ilmeni poikkeamina suunnitelluilta lentolinjoilta ja linjojen mutkaisuutena. Joissakin paikoin lentolinjojen välinen peittoalue ei riittänyt, vaan linjojen väliin jäi aukkoja.

Osa ensimmäisen lennon datasta todettiin myöhemmin virheelliseksi ja näin suoritettiin keväällä 1999 täydennyslento. Se suoritettiin Ruotsista käsin Östermans AB -helikopteriyrityksen kopterilla, johon TopEye-laitteisto oli kiinnitetty. Pilotilla oli suuri määrä aikaisempaa kokemusta laitteiston kanssa lentämisestä. Lentosuunnitelma tehtiin käyttäen hankkeen alueen mukaisesti mutkittavia lentolinjoja, mikä säästi huomattavasti lentoaikaa.

Lento onnistui tottuneen pilotin suorittamana ilman ongelmia. Lentolinjat olivat paikallaan eikä lentolinjojen väliin jäänyt aukkoja. Lennon yhteydessä oli tarkoitus ottaa laitteistoon kuuluvalla videokameralla kuvaa, mutta jostakin syystä videonauhat olivat lennon jälkeen tyhjiä. Tässä hankkeessa ei näin ollen valitettavasti saatu kokemusta videokuvien käytöstä datan tulkinnaissa.

Digitaaliset kuvat mahdollistavat hybridiaineistot

Vuoden 2000 aikana keilauslaitteiston yhteyteen lisättiin korkearesoluutiainen digitaalkamera. Kameralla voitiin ottaa kuvanottoaikojen koordinaatit ja kuvien kiertokulmat oli mahdollista saada GPS-inertiapaikannuksen avulla. Tätä mahdollisuutta lähdettiin innokkaasti soveltamaan ja todettiin pian sen avaavan teknologialle uusia sovellusalueita.

Digitaalisista kuvista muodostetaan orto-oikaistu kuvamosaiikki, jota käytetään laserkeilausdatan tulkintaan ja lisäksi se toimitetaan useimmissa tapauksissa asiakkaalle käytettäväksi suunnitteluhankkeen taustakuvana. Tarkimmissaan kuvamosaiikki voidaan muodostaa käyttäen 2 cm:n pikselikokoa.

Korkealuokkaisten hybridiaineistojen muodostaminen tällä tekniikalla on erittäin vaativaa työtä ja käsiteltävät datamäärät ovat todella suuria. Aineistojen tarkkuus ja yksityiskohtaisuus on kui-

tenkin jotakin, mitä ei tähän asti käytössä olleilla tekniikoilla ole edes kuviteltu voitavan saavuttaa. Tarkka maastomalli ja siihen tarkasti istuva kuvamosaiikki ovat omiaan esimerkiksi yksityiskohtaisten virtuaalimallien muodostamisessa. Virtuaalimallinnusta kokeiltiin muun muassa Peuranmaan golfkentän laajennuksen suunnittelussa.

Hybridiaineistojen käyttö suunnittelussa ei ole valitettavasti aina ongelmattonta. Useiden ohjelmistojen kyky hyödyntää korkealaatuisia täysvärikuvia on erittäin rajallinen. Tällöin suunnittelussa menetetään kuvainformaation tuoma lisäelementti.

Suunnitteluohjelmistot ovat askeleen jäljessä

Monien vuosien ajan suunnittelussa käytetyt atk-sovellukset ovat melko ongelmattomasti kyenneet käsittelemään kaiken sen maastotiedon, jota perinteisellä mittausteknologialla on kyetty tuottamaan. Laserkeilauksella tuotetut aineistot ovat erittäin tarkkoja ja yksityiskohtaisia, mutta samalla valitettavan suuria ja raskaita käsitellä tietokoneella.

Nykyisen sukupolven suunnitteluohjelmistoilla ja tietokoneilla on vaikeuksia hyödyntää laserkeilauksella tuotettavia aineistoja. Aineistoja joudutaan monesti yksinkertaistamaan ja pelkistämään. Lisäksi monet ohjelmistot vaativat aineiston paloittelua, jolloin suunnittelija voi kerralla käsitellä vain rajattua aluetta. Useissa laajastikin käytetyissä ohjelmistoissa ei ole kunnan valmiuksia yksityiskohtaisten digitaalisten värikuvien käyttöön.

Tilanne on kuitenkin nopeasti parantumassa. Uuden sukupolven suunnitteluohjelmistoissa ei ole vaikeuksia suurten tietomäärien käsittelyssä ja tietokoneidenkin tehot alkavat olla riittävällä tasolla. Ajoittainen epätasapaino tiedonkeruuteknologioiden ja tietoja hyödyntävien ohjelmistojen välillä kuuluu kuitenkin normaaliin kehitykseen ja se on pakko hyväksyä. Välillä ohjelmistot kykenisivät hyödyntämään selvästi suurempia ja monipuolisempia aineistoja kuin kyetään tuottamaan. Välillä tilanne on taas päinvastoin ja tiedonkeruuteknologia on niskan päällä.

Tarkkuus ja hinta ovat päällimmäisinä kysymyksinä

Laserkeilauksesta keskusteltaessa varsinkin maanmittareiden piirissä nousee säännöllisesti esiin kaksi kysymystä:

mikä on aineiston tarkkuus ja paljonko se maksaa.

Kumpaankin kysymykseen on erittäin vaikea vastata, koska vastaus riippuu täysin siitä, minkälaista aineistoa on tarkoitus tuottaa. Laserkeilaus on mittaustekniikka eikä tuote. Menetelmällä voidaan tuottaa erilaatuisia ja sisältöisiä tuotteita tarpeen mukaan. Keskusteltaessa laserkeilauksen tarkkuudesta, täytyy aina pitää mielessä, että laserkeilaus on mallintamista. Sillä ei normaalin maastomittauksen tapaan mitata yksittäisiä pisteitä, vaan pistejoukkoja, joista muodostetaan pintoja ja kappaleita. Mallinnuksen onnistumiseksi pitää pistejoukon perustarkkuuden ja pistetiheyden olla kuitenkin riittävä. Mikäli halutaan tarkkoja aineistoja, on keilaus suoritettava alhaisesta lentokorkeudesta suurella pistetiheydellä.

Kustannuksista puhuttaessa on otettava huomioon, että teknologia on erittäin monimutkaista ja prosessiin sisältyy monia riskitekijöitä. Tyypillistä laserkeilausprosessille on, että tekniikan kaikkien osa-alueiden on toimittava virheettömästi. Minkä tahansa komponentin pettäminen aiheuttaa prosessin epäonnistumisen ja ainut ratkaisu on uusia koko operaatio. Virheellisiä toimintoja ei tässä teknologiassa voi tavanomaisten mittausteknologioiden tapaan paikata. Prosessi vaatii jokaiselle osa-alueelleen huippuammattilaiset, jotka todella osaavat hommansa.

Yleisesti voidaan sanoa, että menetelmän hinta on vertailukelpoinen perinteisen tekniikan kanssa. Asiakkaalle tulee lisäarvoa laadukkaammista aineistoista ja ennen kaikkea nopeammista aikatauluista. Nopeat aikataulut merkitsevät myös sitä, että aineistot ovat tuoreita. Tällä on erittäin suuri merkitys nykyaikaisessa suunnittelussa.

Tarvitaanko maastomittajia enää lainkaan?

Laserkeilauksella ja sen yhteydessä suoritettavalla digitaalikuvausella ei kyetä missään hankkeessa inventoimaan kaikkia kohteita, vaan maastomittausta tarvitaan aina. Maastotyön luonne ja tekniikka poikkeaa kuitenkin melkoisesti tavanomaisesta. Hankkeessa, jossa käytetään laserkeilausta, sovelletaan tyypillisesti useita muitakin mittausteknologioita.

Tieliikelaitoksen viimeksi mittaamassa hankkeessa tämän vuoden tammi-kuussa sovellettiin laserkeilauksen lisäksi digitaalikuvausta, GPS-inertia-ajoneu-

vokartoitusta, RTK-GPS-mittausta ja takymetrimittausta. Lisäksi suoritettiin runkomittausta staattisella GPS-mittauksella sekä normaalilla vaaituksella. Voidaan sanoa, että hankkeessa käytettiin kaikkea sitä tekniikkaa, mitä kaapista löytyy.

Miltä teknologian tulevaisuus näyttää

Laserkeilaus on ilmakuvauksen kannalta peitteisten alueiden maastomallien mittaustekniikassa todella tehokas menetelmä. Menetelmän tehokkuus ilmenee sekä kustannustehokkuutena että ennen kaikkea aikasäästönä, joka on monesti kustannuksiakin merkittävämpi tekijä.

Tekniikka ei ole helppo, vaan vaatii hyvin korkeatasoista osaamista kaikilta osapuolilta. Epäonnistumisen riskit ovat melko suuret minkä tahansa komponentin pettäessä. Laitteisto on monimutkainen ja kaikkien komponenttien pitää toimia oikein. Pilotin ja laitteiston käyttäjän pitää hallita hommansa ja virheisiin ei ole varaa. Hankkeen runkopisteistön pitää olla ongelmaton ja toiminta tukiasemien kanssa pitää onnistua. Tyypillistä tämän tyyppiselle tekniikalle on, että jonkin komponentin pettämistä ei voi oikeasta millään tavalla kompensoida tai korjata, vaan ainut vaihtoehto on uusia operaatio.

Tekniikka on kaikinensa kallista ja operointi sillä ei sovi missään tapauksessa pieniin hankkeisiin. Isoissakin hankkeissa tai käsiteltäessä suurta määrää pienempiä hankkeita samalla kertaa operointi on logistisesti vaativaa ja lisäksi ainakin Suomen oloissa sääriski on melkoinen.

**Kirjoittaja on diplomi-insinööri
Tieliikelaitoksen
konsultointiyksikössä.
Sähköposti:
tauno.suominen@tieliikelaitos.fi.**