

# LASERKEILAUS

## - uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen

### Menetelmän kiistattomat edut

3D-laserkeilauksen perusideana on saada mittatarkkaa tietoa havaittavasta ympäristöstä itse kohdetta koskettamatta. Laserkeilain säästää aikaa ja vaivaa mallien teossa, olipa mitattava kohde kuinka monitahoinen tahansa. Keilaimen ehdottomat edut muihin mittaus- ja mallinnusmenetelmiin ovat tarkkuus, nopeus ja turvallisuus.

- Tarkkuus säilyy olipa kohde muodoltaan, laadultaan tai sijainniltaan mikääläinen tahansa (keilain mittaa sen mikä näkyy, mutta ei kohteen taakse katveeseen jääviä alueita).
- Mittaustapahtuma on nopea; muutamassa minuutissa jopa miljoonia pisteitä, joita voi tarkastella reaaliaikaisesti PC:llä. Nopeuden edut verrattuna perinteisiin takymetri- tai lähi- ja fotogrammetrian menetelmiin ovat kiistattomat: nopealla mittauksella ja mallinnuksella päästään merkittäviin ajallisiin ja taloudellisiin säästöihin.
- Menetelmä on turvallinen käyttäjälleen myös siksi, että lasermittauksella voidaan vaivattomasti mitata kohteita, jotka sijaitsevat vaarallisissa ja vaikeasti tavoitettavissa paikoissa.

Mittaus voidaan suorittaa kirkaassa päivänvalossa (ei kuitenkaan aurinkoa kohden mitaten) tai jopa pilkkopimeässä heikentämättä tarkkuutta.

Mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa (tai tekee mittauksen jopa mahdottomaksi) lumi- ja vesisade, pöly tai vastaavat näkyvyyttä heikentävät partikkelit, jotka heijastavat laserin säteen ennen aikaisesti takaisin, absorboivat tai poikkeuttavat sen aiheuttaen virheellisiä ja epätasaisia mittaustuloksia.

### Laitteistokohtaiset mittausten menetelmät

Mittauksien laitteistokohtaisina menetelminä voidaan erottaa skannaus ja keilaus.

*Skannauksella* tarkoitetaan mittaustapahtumaa, jossa kone kiertää itsensä ympäri ja mittaa kohtisuoraan ylös ja lähes kohtisuoraan alas olevalla pystykulmalla. Mittaus tapahtuu kaikkiin suuntiin, vaikka mittaustarvetta ei olisi-kaan kuin tietyltä alueelta tai sektorilta.



Leica Cyrax-2500 laserkeilainjärjestelmä.

**Lasermittaus on uuden teknologian avain entistä tarkempaan ja nopeampaan tiedon keräämiseen. Kohteiden mittaus tapahtuu turvallisesti kohteisiin koskematta ilman prismaa. Laserkeilauksella mittaustarkkuus riippuu enemmän laitteiston ominaisuuksista kuin mittaajan toiminnasta. Mittausmenetelmä onkin käyttäjän kannalta tärkein tekijä, jotta aineistosta luotu malli on halutun kaltainen. Yksityiskohtien havainnointiin ei vaikuta niinkään pistetarkkuus vaan pistetiheys, joka riippuu laitteistokohtaisista menetelmistä.**

Toimintatavan johdosta saadaan paljon aineistoa, jolla ei välttämättä ole käyttöä. Skanneri voidaan toki kohdentaa mittaamaan tiettyä aluetta, mutta resoluutio ei kuitenkaan parane, sillä pisteiden tiheys on sama, mitattiinpa koko ympyrä tai osasektori. Maksimi pistetiheys on määritetty koko 360 asteen vaakakulma- ja sen avautuville pystykulma-alueille. Tämän vuoksi skannauksella ei päästä likikään keilauksen erotuskykyyn.

Menetelmällä pisteiden keskinäinen välimatka 50 m:n päässä on kymmeniä senttejä.

*Keilauksella* tarkoitetaan menetelmää, jossa voidaan määrittää avauskulmat tai alue, josta mittaukset halutaan suorittaa. Menetelmä on huomattavasti tarkempi mallien tekemiseen. Sillä saavutetaan samassa ajassa tarkempi tulos, koska mittaustetriisi voidaan kohdentaa vain tarpeelliselle alueelle. Näin pienimmätkin yksityiskohtat tulevat mitatuksi ja mallinnetuksi. Lisäksi mitattujen pisteiden käyttö halutun mallin teossa on tehokkaampaa.

Keilauksella 50 m:n päähän mitattujen pisteiden keskinäinen välimatka on muutamien millimetrin luokkaa.

### Keilaimen kokoonpano ja mittaustapahtumat

Laserkeilausjärjestelmä koostuu keilaimesta, PC:stä ja tähyksistä. Keilaimella suoritetaan mittaukset ja digitaalikuvien tallennus mittaustapahtumasta. Mittaustapahtumaa valvotaan ja ohjataan PC:n avulla, jolla määritetään mittaustapahtumat, mittaustapahtumat ja laskennalliset työtehtävät. Keilaukset yhdistetään toisiinsa sekä muihin koordinaattijärjestelmiin tähyksien avulla. Ne voivat olla palloja, joiden keskipiste tunnetaan tarkasti mitattujen mallien avulla tai puolipalloja, joissa tasaisen pinnan keskellä on tähyks. Tämä piste saadaan laskennallisesti mitattua myös pallon kuperalta puolelta, tai esim. erityyppisillä heijastinlevyillä.

Keilauksen vaiheet voidaan jakaa neljään osaan: mittauksen suunnittelu, mittauksen toteutus, mallintaminen ja siirto CAD-järjestelmiin, joissa tiedon lopullinen hyödyntäminen tapahtuu muiden mittaustapahtumien ja paikkatietoaineistojen kanssa.

## Laserkeilauksella yksityiskohdat tulee tarkasti mitattua

Mittaamiseen käytetään jo nimenkin mukaisesti lasersädettä, joka on pulssitettu, eli laservalo ammutaan kohteeseen pieninä sykäyksinä. Keilain ”ruudukoi” (vaaka- ja pysty kulmaeroilla) mitattavat suunnat siten, että mittaus alkaa mitattavan alueen vasemmasta yläkulmasta alaspäin mitaten samalla kulmalla pystylinjan kaikki pisteet; tämän jälkeen seuraava pystylinja alkaa taas ylhäältä, mutta on siirtynyt vaakasuunnassa oikealle. Pisteiden kulmapoikkeama keilaimesta on sama vaakalinjan pisteillä sekä pystylinjan pisteillä, mutta vaakakulmien ja pystykulmien ei tarvitse olla yhtä suuret. Pystylinjojen pisteet voivat olla tiheämmässä kuin pistelinjojen vaakaeitisyys ja vastaavasti toisinkin päin. Pisteiden etäisyydellä voidaan helposti määrittää ja eritellä haluttuja pintoja, kuten tiheet pisteet pystysuunnassa ja suurempiväliset vaakasuunnassa, jotka antavat tarkan paikan vaakasuunnan yhtenäisille rajapinnoille. Laserkeilaimen merkistä ja mallista riippuen ruudukon tiheyttä voidaan muuttaa haluttuun resoluutioon, jotta mitattujen pisteiden ja haluttujen mallien tarkkuus vastaavat toisiinsa. Resoluutio, eli kuinka pienet kohteet on mahdollista havaita mittauksella, riippuu pyyhkäisyjen määrästä mitattavalla alueella (useimmiten käyttäjän määrittämä pisteväli tietyllä matkalla) ja mitattavan kohteen etäisyydestä. Esim. tasaista seinää mitattaessa kojetta lähinnä olevien pintojen mitatut pisteet ovat lähellä toisiaan, kun taas kauempaa mitattujen pisteiden keskinäinen välimatka on suurempi saman kulmaeron ja pidemmän matkan vuoksi.

Kohteeseen osuessaan lasersäde heijastuu takaisin keilaimen ja kulkuajan perusteella lasketaan, miten kaukana säde kävi keilaimesta ( $\text{kesto aika} \times \text{valon nopeus} / 2$ ). Etäisyyden ja pysty- ja vaakakulmien avulla lasketaan kullekin laserpulssille koordinaatti laserkeilainkeskisessä koordinaatistossa. Mitatut pisteet muodostavat pistepilven, jonka jokaisella pisteellä on kolmiulotteinen koordinaatti (X, Y, Z).

## Intensiteetti lisää havainnollisuutta

Kukin piste saa sävyarvon sen mukaan millä intensiteetillä lasersäde kohteesta palautuu. Tämä helpottaa huomattavasti pistepilvien käsittelyä. Vaikka kohde olisi tasainen pinta, erottuvat pinnalla olevat tekstiit tai kuviot selkeästi värien vai-



**Maa ja Vesi Oy:n Leica Cyrax-2400 -järjestelmällä suorittama kolmiulotteinen mallinnus Fortum Oil and Gas Oy:lle. Ylhäällä laserkeilaimen ottama digitaalikuva mallinnettavasta kohteesta, keskellä laserkeilaimen mittaama kolmiulotteinen pistepilvi kohteesta, ja alhaalla pistepilvestä tehty kolmiulotteinen malli, joka on valmis siirrettäväksi CAD-järjestelmiin.**

kuuttaessa säteen intensiteettiin. Seinälinjojen leikkauskohdat tulevat sävyeroina esiin toimittaessa kolmiulotteisessa ympäristössä, jossa saman väriset pisteet olisivat vain pistemassaa ja ulottuvuuden havainnointi olisi erittäin vaikeaa. Säteen intensiteettiin vaikuttavat ennen kaikkea materiaali, osumiskulma kohteeseen, värisävyt ja kohteen tasaisuus.

## Helppo koordinaattien muokkaus

Mitattujen pisteiden koordinaatit voidaan haluttaessa helposti muuttaa valtakunnallisiin tai erillisiin koordinaattijärjestelmiin, mikäli tunnetaan riittävästi yhteisiä pisteitä 3D-mallissa ja haluttussa koordinaattijärjestelmässä. Mitattujen pistepilvien yhdistämisessä tarvitaan samoin yhteisiä pisteitä, joilla kukin mittauskerta liitetään toisiinsa. Näin ollen tähykset voidaan mitata myös haluttussa koordinaatistossa tai asettaa tähykset jo ennalta tunnetuille pisteille. Pisteet sijoitetaan mitattavan kohteen ympärille siten, että ne on geometrisesti helppo mitata mallien yhdistystä ja koordinaatistoa ajatellen. Tämän vuoksi itse laserkeilaimen sijainnilla ei ole merkitystä koordinaatistoa ajatellen, kunhan tunnetut pisteet ja mitattavat kohteet näkyvät mallilla. Lasermittauksen lisäksi keilaimet ottavat mitattavista suunnista digitaalikuvia, joilla helpotetaan pistepilvien käsittelyä mallia tehtäessä sekä kuvalta voidaan kohdentaa alueita, joista halutaan lisämittauksia. Mallien teossa käytetään valmiita geometrisiä määrittäjiä kuten pintoja, palloja ym., jotka generoidaan vastaamaan mahdollisimman hyvin mitattuja pisteitä. Mittauksien tarkkuus paranee, kun esim. seinälinja kuvautuu mitattujen pisteiden laskennalliseen keskikohtaan, jolloin yksittäisen pistevirheiden merkitys pienenee. Vaikka yksittäisen pisteen pistevirhe on 2–6 mm, saadaan pisteistä lasketulle mallille 2 mm:n tarkkuus. Tarkkuutta voidaan parantaa myös lisämittauksilla, jotka yhdistetään samaan malliin parantaen näin laskennallisen mallin luotettavuutta.

## Laserkeilaintyyppit

Laserkeilausjärjestelmiä on kolme eri tyyppiä tarkkuuden ja käyttötarkoituksen mukaan:

- Millimetrinosien laserkeilaimet, joiden pistetarkkuus < 1 mm ja jotka sopivat esim. metalliteollisuuden pienten objektien mittaukseen ja laadunvarmistukseen. Enimmäistoimin-

tasäde < 2,0 m.

- Millimetriluokan laserkeilaimet, joiden pistetarkkuus < 1 cm. Nämä sopivat geodeettiseen ja teollisuusmittauksiin. Enimmäistoimintasäde < 300 m.
- Desi- ja metriluokan laserkeilaimet, joiden pistetarkkuus > 0,2 m. Näitä käytetään helikopteri ja lentokone ilmakuvauksella, kaukokartoituslaitteissa ja avaruusmittauksissa. Toimintasäde sadoista metreistä satoihin kilometreihin.

### Laserkeilaimen käyttömahdollisuudet

Millimetriluokan laserkeilaimen parhaimmat sovellusalueet:

- **Rakennusten ja julkisivujen mittaukset.** Rakennusten kuten kirkkojen, vanhojen rakennusten, historiallisten kohteiden, patsaiden, taideteosten ym. olemassa olevien rakenteiden ja rakennusten entisöinnin suunnitteluun sekä tarkkaan seurantaan ja ohjaamiseen. Siltojen ja muiden rakenteiden mittaukset, joilla tarkkaillaan rakennustoimintaa millimetritarkasti ja jotka näin helpottavat suunnitelmien laadintaa ja toteutusta.
- **Tuotantolinjojen turvallisuus ja laadunvalvonta.** Paperiteollisuuden, kemianteollisuuden ym. alojen mittauksiin, joissa tarvitaan tarkkoja mittauksia laadunvarmistukseen, tuotantolinjojen rakenteen keston ja turvallisuuden varmistukseen. Tulevien tuotantolinjojen sovitukseen ja linjojen suunnittelun tarkka apuväline. Mittaukset turvallisilla menetelmillä kohteisiin koskematta.
- **Tunneli ja kaivosteollisuus.** Tunnelien ja kaivosten rakenteiden suunnitteluun ja seurantaan, jossa voidaan tarkastella olemassa olevan ympäristön suhdetta työsuunnitelmaan tarkasti.
- **Raskaan teollisuuden ja suurten komponenttien tuotanto.** Laivateollisuuden, voimalaitosten koneistojen ja järjestelmien kokoonpano ym. alat, joissa rakenteet valmistetaan osina eri yksiköissä tai suurina moduuleina, jotka yhdistetään suuriksi kokonaisuuksiksi. Keilauksella osien yhteensopivuus varmistetaan suurella tarkkuudella. Välttyään suurilta korjauskustannuksilta yhdistämisvaiheessa olivat moduulit ja laitteistot miten monitahoiset tahansa. Kyetään myös ennakoimaan tulevat sovituksessa tulevat ongelmat, jolloin niihin voidaan ennalta suunnitella ratkaisuja.
- **Vaarallisten kohteiden mittaukset.**

Mittaukset kohteista, joiden läheisyys saattaa aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia tai vaaratilanteita. Ahtaissa, pimeissä tiloissa vaarallisetkin kohteet voidaan mitata etäältä kohdetta koskematta ja vaaraa aiheuttamatta. Esimerkkinä sähkömuuntamot, valimot, ydinvoimalat ym.

Laserkeilaimen sovellusalueet ovat niin monitahoiset, että luetteloni antaa vain suuntaviivoja. Sovellusalueita tulee kaiken aikaa lisää, esimerkkinä elokuvateollisuus, joka käyttää laserkeilainta efektien ja havainnollisten mallien valmistukseen. Virtuaalimaailmojen rakennus, joissa käytetään laserkeilainta, on jo monessa paikassa mittausvälineenä tarkkojen kaupunkimallien toteuttamiseksi.

### Uusi ulottuvuus paikkatiedolle

Laserkeilaus antaa uuden ulottuvuuden paikkatiedon keräämiseen. Sen avulla saatujen mallien tarkkuus ja luotettavuus kuvaavat parhaiten olemassa olevan ympäristön ulottuvuuksia. Virtuaalikaupungit, joiden geometriset ominaisuudet, mittasuhteet ja kohteiden yksityiskohdat vastaavat todellista ympäristöä, eivät ole enää tieteiskirjallisuutta, vaan ovat tämän päivän tekniikalla luotavissa.



**Kirjoittaja Jarkko Koski on Espoon-Vantaan teknillisen ammattikorkeakoulun maanmittauslinjan 4. vuosikurssin opiskelija ja työskentelee Leica Nilomark Oy:ssä. Insinööriyön aihe on Leica Cyrax-2500 -laserkeilausjärjestelmä.**  
**Sähköposti:**  
**jarkko.koski@evitech.fi**

Julkisten palvelujen yksityistäminen on ollut kansainvälinen trendi, jonka markkinoinnista vastasi etenkin rautarouva **Margaret Thatcher**. Viime aikoina erityisen kiinnostuksen kohteina ovat olleet infrastruktuurista huolehtivat valtion ja kuntien yritykset ja laitokset – energia- ja puhelinlaitokset, rautatiet sekä aivan viime viikkoina lentoyhtiöt. Yksityistämisen etuina on nähty valtion ja kuntien talouden parantaminen, yritysten kilpailukyvyyn ja liiketoiminnan joustavuuden lisääminen sekä ”tuottamattoman” pääoman saamisen tehokkaampaan käyttöön. Valitettavan usein saadut rahat on nopeasti investoitu uusien palvelurakennusten seiniin. Suomessa keskustelu on kulminoinut Soneran kohtaloon – ensin valtion myi osakkeita liian halvalla, sitten liian hitaasti ja joutui lopulta rahoittamaan yhtiötä mittavalla tukipaketilla. Moraalisesti mielenkiintoiseksi Soneran tilanteen tekee se, missä määrin yhtiön liiketoiminnan laajentaminen Euroopan laajuiseksi ja saksalaisten ja turkkilaisten puhelujen subventoiminen on suomalaisen veronmaksajien velvollisuus. Kotimaisten peruspuhelinpalvelujen turvaamisesta siirryttiin rivakasti tilanteeseen, jossa suomalaisten verorahoja käytetään köyhien saksalaisten veronmaksajien tukemiseen maksattamalla ylihintaiset kolmannen sukupolven matkapuhelinluvut suomalaisilla. Miten tässä näin pääsi käymään?

Palvelujen laadulla ei näissä keskusteluissa ole juuri sijaa. Euroopan kokeemukset esimerkiksi rautatieliikenteen yksityistämisestä ovat olleet lähinnä masentavia. Kustannussäästöjen ja -tehokkuuden lisäämisen sijaan on saatu kasvaneita turvallisuusriskejä, jatkuvat myöhästelyt sekä rataverkoston vanheneminen. Lisäksi ns. vapaa kilpailu ja hinnoittelu ovat johtaneet yhä kasvavaan