

Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu

Vahur Joala

Leica Nilomark Oy
Sinimäentie 10 C, PL 111, 02631 Espoo
Puh. (09) 615 3555, Fax (09) 502 2398
geo@leica.fi, www.leica.fi

1. Laserkeilain

Laserkeilaus täydentää koordinaattimittausmaailman uudella korkean yksityiskohtaisella mittausmenetelmällä, jolla pystytään keräämään ympäröivästä maailmasta tietoa monipuolisemmin ja nopeammin. Laserkeilain on mittalaite, jolla pystytään mitaamaan pisteitä koskematta kohteeseen. Laserkeilaimella mitataan kohteesta kolmiulotteinen pistepilvi. Mittausmenetelmä muistuttaa monessa suhteessa mittausta prismattomalla takymetrillä. Mittalaitteessa on nollapiste, josta lähtee liikkeelle lasersäde, jonka avulla mitataan kohteen etäisyys mittalaitteesta. Valon kulkuaikaan perustuvissa laserkeilaimissa mitataan etäisyys aikana, jonka valosignaali kulkee mittalaitteesta kohteeseen ja takaisin. Koska tiedetään valosignaalin (lasersäteen) lähtökulmat (sekä vaak- että pystysuunnassa) ja matka, voidaan laskea jokaiselle mitatulle pisteelle koordinaatit. Koordinaattien lisäksi järjestelmä tallentaa jokaiselle pisteelle myös intensiteettiä ja paluusignaalin voimakkuuden pohjalta.

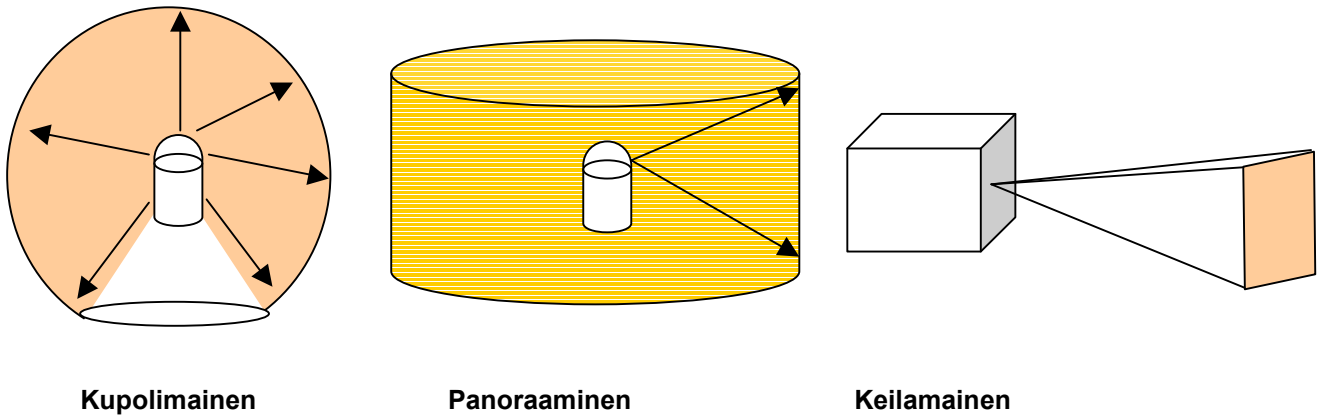
2. Laserkeilaimien luokittelu

Laserkeilaimet voidaan luokitella kolmeen pääluokkaan:

- a) Kaukokartoitus-laserkeilaimet, joita käytetään lentokoneista, helikoptereista tai avaruusaluksilta. Mittausetäisyys näissä laitteissa on 0,1-100 km ja mitatun pisteen tarkkuus on joitakin senttimetrejä (tyypillisesti >10 cm);
- b) Maalaserkeilaimet (terrestriaaliset laserkeilaimet), joita käytetään mittauksiin matkoille 1–300 m ja joissa mittaustarkkuus on alle 2 cm;
- c) Teollisuuslaserkeilaimet, joilla mitataan pieniä kohteita alle millimetrin tarkkuudella ja alle 30 m:n etäisyydeltä.

Jatkossa käsittelemme maalaserkeilaimia ja niiden ominaisuuksia. Maalaserkeilaimet voidaan toimintaperiaatteen pohjalta jakaa neljään eri tyyppiin:

- a) Kupolimainen mittaustapa (näitä sanotaan myös laserskannereiksi)
- b) Panoraaminen mittaustapa
- c) Keilamainen mittaustapa
- d) Optinen kolmiomittaus



Kuva 1. Laserkeilaimien tyyppejä.

Nykyisin enemmistö käytettävistä keilaimista on kupolimaisesti mittaavia, joten mittaamatta jää vain pieni alue laitteen alapuolelta (tekninen rajoite). Puutteena on ollut se rajoite, että mitattavien pisteiden välimatka kasvaa etäisyyden funktiona, jolloin yksityiskohtaisten mittauksien suorittaminen jo yli 20 metrin etäisyydellä on ollut hankalaa. Monet laitteet kuitenkin pystyy ”fokusoimaan” mittausaluetta myös pitkille matkoille, eli pistepilven tiheys matkan mukaan ei paljonkaan heikkene. Näissä tapauksissa pitenee vain mittausaika.

Panoraamisesti mittaavien laitteiden rajoitteena on mittausrajoitus ylöspäin (tunnelit, rakennuksien sisätilat).

Optinen kolmiomittaus, mittausmenetelmistä harvinaisin, on pisteenmittauksessa tarkka, mutta rajoituksena on lyhyt mittausetäisyys ja muihin menetelmiin verrattuna isot katvealueet.

Laserkeilaimessa käytettävän etäisyysmittausmenetelmän pohjalta voidaan keilaimet luokitella kahteen isoimpaan ryhmään:

- a) valon kulku-aikaan perustuvat keilaimet
- b) vaihe-ero-keilaimet

Valon kulku-aikaan perustuvat keilaimet ovat hitaampia, mutta mittaavat pitempiä matkojakin tarkasti ja pitkiltä matkoiltakin saadaan tiheitä pistepilviä. Vaihe-ero-keilaimet ovat nopeita (jopa 500 000 pistettä sekunnissa mittaavat laitteet), mutta niiden etäisyysmittauksen maksimi jää nykyisin vielä alle 80 metrin, pistepilvien tiheyttä ei voida paljon säätää (esim. mitata kaukaisille kohteille tiheä pistepilvi). Myös mitattavan pistepilven laatu, erityisesti kohteiden reunoissa ei ole kulku-aikaan perustuviin laitteisiin verrattuna yhtä laadukas.

3. Laserkeilauksen laatuun vaikuttavat tekijät

Laserkeilauksen tuloksena saadaan pistepilvi. Yleisin syy mitata pistepilvi on mallintaa mitattu kohde. Tästä näkökulmasta laserkeilausprojektin laatuun vaikuttaa kolme tärkeää laadun kriteeriä:

- a) yksittäisen mitatun pisteen laatu
- b) pistepilven tiheys
- c) erikseen mitattujen pistepilvien yhdistämisen laatu

3.1 Mitatun pistepilven hajonta ja intensiteetti

Yksi tärkeä vaikuttava tekijä on mitattujen pisteiden hajonta. Tähän vaikuttaa paljon mittaussäteen osumiskulma kohteelle. Kohteiden mallintamisessa on näin ollen erittäin tärkeää jäännösvirheiden seuranta.

Mittausmatkan kasvaessa kohteelta mittalaitteeseen palaava signaali heikkenee. Paluusignaalin voimakkuus riippuu myös mitattavan kohteen pinnan ominaisuuksista. Esim. mittaussignaali palautuu eri tavalla rapatusta seinästä kuin maalatasta pinnasta tai ruosteisesta teräksestä. Myös kohteiden kaarevuus vaikuttaa palautuvan signaalin voimakkuuteen. Osa keilaimista tallentaa mitatun pisteen koordinaattien lisäksi myös palautuvan signaalin voimakkuuden. Paluusignaalin voimakkuus voidaan visuaalisesti esittää tietokoneen näytöllä jokaisen pisteen kohdalla värierona tai harmaasävyn erona. Käyttäen hyväksi intensiteettiä (palautuvan signaalin voimakkuutta) voidaan tasomaiselta pinnalta erottaa myös tekstuuria (kuvioita, tekstejä). Osa mittalaitteiden valmistajista esittää tietokoneen näytöllä sävyeroja matkan funktiona, jolloin tasomaiset kohteet näyttäytyvät katsojalle samanvärisinä (tekstuuri ei erotu). Värieron käyttö on osoittautunut käytännössä monipuolisemmaksi ja miellyttävämmäksi. Mittalaitteesta voidaan sisäisen kameran avulla määrittää jokaiselle pisteelle oikea väri tai liittää ulkoisella kameralla kuvatun valokuvan avulla värit pistepilven pisteille.

3.2 Mitatun pistepilven tiheys

Pistepilvet mitataan yleensä jatkokäsittelyä varten, eli pistepilviä käytetään kohteen mallintamisessa. Mallintamisen laatuun vaikuttaa suoranaisesti mallintamisessa käytettävän pistepilven pisteiden keskinäinen välimatka. Nyrkkisääntönä on, että mitä tiheämpi on mitattu pistepilvi, sitä tarkemmin pystytään mallintamaan putkistoja, reunoja jne. Ei saa kuitenkaan unohtaa, että tiheästä pistepilvestä ei ole paljon iloa jos mitatun pistepilven pisteiden tarkkuus on huono.

Pistepilven tiheys heikkenee matkan funktiona. Vaihe-ero-menetelmällä toimivien laitteiden kohdalla voidaan sanoa, että parhaimmillaan ne kykenevät 50 m matkalta mitata pistepilviä 8 mm ruutuun. Valon kulkuaikaan perustuvilla laitteilla pystytään kohteita mittaamaan pari-kolme kertaa tiheämmin.

3.3 Mitattujen pistepilvien yhdistämistavat

Koska kohteen mittauksessa yleensä tarvitaan tietoa myös yhdeltä kojepisteeltä mitattuna piiloon jäävistä alueista, on mitattava monelta kojeasemalta. Mitattujen pistepilvien yhdistämiseksi yhdeksi isoksi pistepilveksi on monia menetelmiä.

Tarkin yhdistämismenetelmä on yhteisten tähyksien käyttö, eli jokaisesta mitattusta pistepilvestä pitää löytyä ainakin kolme yhteistä koodattua tähyistä, joiden avulla pistepilvet yhdistetään samaan koordinaatistoon. Tähyksien keskipisteet on mitattava keilaimella. Tähykset ovat yleensä tasomaisia, pallomaisia tai puolipalloja. Niiden keskipisteiden määrittäminen keilaimen pistepilvestä tapahtuu ns. automaattisesti. Tähyksien keskipisteet voidaan mitata takymetrillä ympäröivässä koordinaatistossa yhdistettyjen pistepilvien siirtämiseksi tarvittavaan koordinaattijärjestelmään. Pistepilvien yhdistäminen tapahtuu kyseisellä menetelmällä parhaimmillaan 1–3 mm tarkkuudella.

Pistepilviä voidaan yhdistää myös käyttäen yhteisiä mallinnettuja kohteita. Kahdessa erikseen mitatussa pistepilvessä mallinnetaan yhteisiä kohteita (tasoja, lieriötä...), niille annetaan koodit ja niitä käytetään pistepilvien yhdistämisessä. Kohteiden mallintaminen ei ole kuitenkaan yhtä tarkkaa kuin tähyksien keskipisteiden määrittäminen. Tästä johtuen on pistepilvien yhdistäminen kyseisellä menetelmällä epätarkempi tapa verrattuna yhteisten tähyksien käyttöön.

Käytettävissä on myös pistepilvien yhdistämismenetelmä pistepilvien yhteisten alueiden avulla. Tämä menetelmä vaatii, että kahdessa keskenään yhdistettävässä pistepilvessä olisi ainakin kolmasosa yhteistä peittoa. Kummassakin pistepilvessä osoitetaan vähintään kolmelle yhteiselle pisteelle (osoitustarkkuus pisteparille kahdessa pistepilvessä alle 10 cm), joita käytetään kahden pistepilven likiarvosovitukseen. Sen jälkeen voidaan sovittaa mittaussovellus parhaimmalla tavalla (jäännös- virheet minimoiden) molemmat pistepilvet samaan koordinaatistoon. Pistepilvien yhdistämistarkkuus kyseisellä menetelmällä käytännössä on 5–10 mm.

Isoimmissa projekteissa on tavallista, että mitatut pistepilvet yhdistetään edellä mainittujen menetelmien kombinaationa.

4. Laserkeilaimien parametrit

Laserkeilaimien mittausparametrit voidaan jakaa kahteen pääryhmään: fyysiset ja mittaustekniset.

Fyysiset parametrit ovat maksimi mittausetäisyys, yhden pisteen mittaustarkkuus, mittaussnopeus, kulmaluvun tarkkuus, kulman minimiaskel, paino, toiminta-aika, näkökenttä, kahden pisteen välinen minimimatka pistepilvessä esim. 50 m matkalla, lasersäteen läpimitta esim. 50 m matkalla, jne.

Mittausteknisiä parametreja ovat mittauksien lukumäärä yhdellä mittauksella, tähyksien mittaushelpous, käytettävien pistepilvien yhdistämismenetelmät, mittauksien suodatusmahdollisuudet (intensiteetin tai etäisyyksien perusteella), mahdollisuus mitata suoraan ylös tai alas, jne.

Mittauskojeiden valmistajat määrittelevät mittalaitteen parametrit poikkeavilla periaatteilla, koska yleistä standardia tähän ei vielä ole.

Tästä syystä tarvitaan testejä mittalaitteiden todellisten ominaisuuksien toteamiseksi. Hyvälaatuinen testirata keilaimien mittaustarkkuuden ja mallinnuskyvyn toteamiseksi on Etelä-Karjalan Ammattikorkeakoulussa Lappeenrannassa.

5. Laserkeilauskohteet

Laserkeilausta käytetään hyvin laajasti. Pääasialliset syyt keilausmenetelmän käyttöön ovat:

- Mitattavasta kohteesta ei ole piirustuksia ollenkaan (kirkot...)
- Mitattavasta kohteesta tarvitaan kolmiulotteista tietoa
- Vaaralliset kohteet (sähkölaitokset, louhokset...)
- Tarvitaan yksityiskohtaista tietoa kohteesta ja tietoa tarvitaan nopeasti
- ”Lahjomaton” laadunvalvonta

Tyypilliset laserkeilauskohteet ovat:

- Tuotantolaitokset (saneeraus, älykkäät laitosmallit...)
- Arvorakennukset
- Sillat, tiet, tunnelit
- Muistomerkit
- Laivat, rautatiet...
- Vaikeasti tavoitettavat kohteet (kallioseinämät, korkeat rakenteet...)
- Maanmittaus

Uusia käyttökohteita lisääntyy jatkuvasti.

6. Laserkeilausprojekti ja sen suunnittelu

Laserkeilausprojektin voi jakaa seuraaviin etappeihin:

1. Suunnittelu, esivalmistelut
2. Keilaus
3. Tähyksien mittaus
4. Mitattujen pistepilvien yhdistäminen
5. Georeferointi (pistepilvien siirto tavoitekoordinaatistoon)
6. Mallinnus
7. Mallin siirto suunnittelujärjestelmään

Suunnitteluvaiheessa kannattaa tutustua jo etukäteen mitattavaan kohteeseen. Näin voidaan selvittää esim. tarvittavien asemapisteen sijainnit. Tilaajan kanssa pitää sopia valmiin mallin siirtoformaattit, täydellisyystaso, yksityiskohtaisuustaso sekä tarkkuusvaatimukset. Usein ei tarvita esim. koko laitoksen mallia vaan vain pieni osa. Silloin voidaan loput mittauksista siirtää tilaajalle pistepilvenä. Liian yksityiskohtainen mittaus tuo lisäkustannuksia (mittauksiin kuluva aika, enemmän asemapisteitä). Liian harvaan mitattu pistepilvi ei anna riittävästi tietoa mallinnettavasta kohteesta. Eli aina on löydettävä kompromissi.

Esivalmisteluihin sisältyy tarvittavan koordinaatiston määrittäminen (tarvittaessa mitataan takymetrillä jonoja) sekä pistepilvien yhdistämisessä tarvittavien tähyksien asettelu kohteeseen.

Keilausprosessi yleensä on yksinkertainen. Tarvitaan mittausalueen (mittaussektorin) määrittäminen, pistepilven tiheyden määrittäminen jne.

Samanaikaisesti keilauksen aikana voidaan suorittaa pistepilvien yhdistämisessä käytettävien tähyksien mittaus takymetrin avulla (yleensä prismaton takymetri).

Monet projektit ovat epäonnistuneet mitattujen pistepilvien yhdistämisessä tulleiden virheiden vuoksi. Pistepilvien rekisteröintiin pitää suhtautua erittäin vakavasti ja se on suoritettava huolellisesti. Pistepilvien yhdistämisen yhteydessä tai sen jälkeen voidaan siirtää mittaukset tarvittavaan koordinaatistoon (georeferointi). Georeferointi voidaan tehdä myös asemapisteen pystytyksen yhteydessä (Leican keilaimissa) joko tunnetun asemapisteen menetelmällä tai laitteissa, joissa on kompensattori, vapaan asemapisteen menetelmällä.

Mallinnuksessa mallinnetaan mitattu kohde kolmiulotteiseksi malliksi. Käytävissä on matemaattiset mallit (taso, sylinteri, jne.), luonnolliset mallit (esim. maastomalli). Jokainen mittaus ja mallinnus tuottaa jonkun verran virhettä verrattuna todellisuuteen. Mallinnuksen yhteydessä voidaan sovittaa mallinnetut kohteet standarditaulukoihin (putket, mutkat jne.). Hankalia kohteita (venttiilit, supistimet, jt.) voidaan lisätä jo mallinnettujen kohteiden lisäksi.

Mallit siirretään jatkokäsittelyä varten usein suunnittelujärjestelmiin, vaikka myös mallinnusohjelmissa on usein 3D-sunnitteluominaisuuksia eli kohteita voidaan suunnitella suoraan pistepilveen. Yksi hyvä ja kompakti siirtoformaatti on Leica Geosystems COE-formaatti. (Ilmaiset muunnokset Leican ohjelmien, Microstation- ja AutoCAD-ohjelmien välissä). Toinen vaihtoehto on mitattujen pistepilvien tuonti suoraan suunnitteluohjelmiin ohjelmallisten lisämoduulien avulla (Leica tukee CloudWorx – moduulin avulla: AutoCAD, Microstation, Intergraph SmartPlant Review, PDMS).

7. Laserkeilauksen uusia suuntauksia

Kuten muutkin mittausjärjestelmät, laserkeilaus kehittyy kovaa vauhtia. Uusina piirteinä ovat:

- Langattomat laserkeilaimet
- Mittaus liikkuvalta alustalta
- Mittausnopeus on kasvussa
- Kompensaattorin käyttö
- Ohjelmistot kehittyneet

Muita trendejä:

- Enemmän onnistuneita keilausprojekteja
- Keilausprojektien toteutumisaika lyhentynyt, projektit edullisempia
- Keilausprojektien koot kasvussa (megaprojektit)
- Keilausprojektin tulos ei aina ole malli vaan tilaajalle toimitetaan pistepilvi
- Laserkeilausta käytetään paljon perinteisessä maanmittauksessa

8. Leica Geosystems'in laserkeilainperhe

Leica Geosystems tarjoaa nykyisin kolmea laserkeilainta:

			
	HDS3000	ScanStation	HDS6000
Mittausetäisyys	300 m	300 m	79 m
Mittausnopeus	4000	4000	100000/500000
Näkökenttä	310°x360°	310°x360°	310°x360°
Mittaustarkkuus	4 – 6 mm	4 – 6 mm	1,2 – 7,5 mm
Mittausmenetelmä	Valon kulkuaika	Valon kulkuaika	Vaihe-ero
Kompensaattori	ei	kyllä	kyllä

Ohjelmistoina käytössä:

- Leica Cyclone (SCAN, REGISTER, MODEL, SURVEY, SERVER)
- CloudWorx (AutoCAD, Microstation, PDMS, Intergraph SmartPlant Review)
- Leica TMS (tunnelimittaus laserskannerin avustuksella).