

Kaikki mittauslaitteet mittaavat väärin!

Kuinka väärin – se selvitetään kalibroinnilla

Jaakko Santala



© Raimo Laurén

Robottitakymetrin etäisyysmittarin kalibrointia 75 m pitkällä laboratoriokalibrointiperusviivalla.

Korkealaatuinen mittaustekniikka on välttämätön edellytys kehittyneelle sivilisaatiolle ja korkealuokkaiselle teollisuustuotannolle. Mittaustekniikkaa ei voida ajatella ilman kalibrointia. On esitetty arvio, että n. 10 % bruttokansantuotestamme koostuu erilaisista mittaus- ja kalibrointitoiminnoista. Päätöksenteko perustuu yleisesti erilaisten mittaustulosten hyväksikäyttöön. Tarkat ja kalibroinneilla varmistetut mittaukset luovat pohjaa laadukkaalle suunnittelulle ja oikealle päätöksenteolle.

Mitä kalibroinnilla tarkoitetaan?

Kalibrointi on mittauslaitteen tai -järjestelmän näyttämän oikeellisuuden testaus; sillä saadaan selville systemaattiset virheet ja satunnaisten virheiden aiheuttama hajonnan arvo. Vain kalibroinnin avulla voidaan määrittää mittauslaitteen tai -järjestelmän tarkkuus: mittaustuloksen ja oikean arvon yhteensopivuus. Tarkkuus on projektikohtainen käsite. Kalibroinnilla, käytännössä peräkkäisten kalibrointien hierarkkisessa järjestelmässä – kalibrointiketjussa – mit-

On esitetty arvio, että n. 10 % bruttokansantuotestamme koostuu erilaisista mittaus- ja kalibrointitoiminnoista. Tarkat ja kalibroinneilla varmistetut mittaukset luovat pohjaa laadukkaalle suunnittelulle ja oikealle päätöksenteolle.

tauslaitteen tarkkuus jäljittyy mitattavan suureen mittayksikön tarkkuuteen. Tällä tavalla saadaan mittayksiköt oikean suuruisina tuotannon käyttöön. Samalla saavutetaan eri aikoina ja eri paikoissa suoritettujen mittausten luotettavuus, uskottavuus ja keskinäinen vertailukelpoisuus.

Kun havaintoa tai mittaustulosta korjataan kalibrointitodistuksessa ilmoitetulla systemaattisen virheen arvolla, saadaan mittaustuloksen todennäköinen arvo ja oikea arvo yhtymään.

Kalibrointi jaetaan määrityskalibroin-

tiin ja seurantakalibrointiin. Määrityskalibrointi tehdään laboratoriossa ja tätä seuraavasti seurantakalibrointia kentällä. **Määrityskalibroinnilla** määritetään kojevirheiden arvot korjausta varten. **Seurantakalibroinnissa** testilinjalla/-kentällä tehdään toistomittauksia säännöllisin väliajoin ja seurataan kojeen toiminnallista kuntoa, so. mittaustuloksen muutosta aika-akselilla verrattuna tehtaan kojeelle ilmoittamiin sallittuihin muutostarvoihin. Ensimmäinen seurantakalibrointimittaus tulee tehdä heti määrityskalibroinnin jälkeen. Jos sallittu muutosarvo ylittyy, toimitetaan koje normaalisti huoltoon, josta se palaa sovitusti – määrityskalibroinnin kautta – takaisin käyttöön ja seurantakalibroinnin piiriin. Näin mittaaaja on jatkuvasti tietoinen kojeen vallitsevasta tarkkuudesta ja voi arvioida sen käytettävyyttä kulloiseenkin mittaustehtävään.

Kalibroinnilla voidaan säilyttää mittauslaitteen/-järjestelmän alkuperäinen tarkkuustaso ja taloudellinen arvo.

Kalibroinnilla laatuun

Tänä päivänä yhä useampien yritysten toimintoja ohjaa **laatu järjestelmä**.

Laatu järjestelmä dokumentoidaan laatu käsikirjassa.

Yksi tehokkaan laatu järjestelmän tunnusmerkkejä on se, että tuotteiden/palvelujen laadulle on asetettu mitattavissa

olevia ja seurattavia tavoitteita. Laadukkaat mittaukset edellyttävät asiakasvaatimusten täyttymistä, jotka on kirjattu spesifikaatioissa. Edellä olevasta kalibroinnin määritelmästä on käynyt ilmi, että panostamalla kalibrointiin saavutetaan mittatarkkuus ja luotettavuus, mitkä ovat laadun takeita.

Geodeettisten kojeiden kalibroinnin ohjeisto

Suomesta puuttuvat toistaiseksi lakiin perustuvat säännökset ja ohjeet, jotka velvoittaisivat suorittamaan geodeettisten kojeiden kalibrointia. Tämä puute on otettu huomioon Geodesian laboratoriossa vuonna 1991 laadituissa ”Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeissa” (NKMO), joilla on pyritty täydentämään asetuksen mukaisia *Kaavoitusmittausohjeita*. NKMO:ssa on annettu yksityiskohtaisia ohjeita geodeettisten kojeiden ja mittausjärjestelmien sekä määritys- että seurantakalibroinnin suorittamiseksi.

Rakennusmittausten puolella on olemassa SFS-ISO-mukaisia standardeja, joissa on annettu seurantakalibroinnin piiriin luettavia ohjeita ”Accuracy in Use” -periaatteella rakennusmittauksissa tavanomaisesti käytettäville geodeettisille mittauskojeille.

ISO 9000 -standardisarjan mukaiset laatu järjestelmät edellyttävät, että mitta-

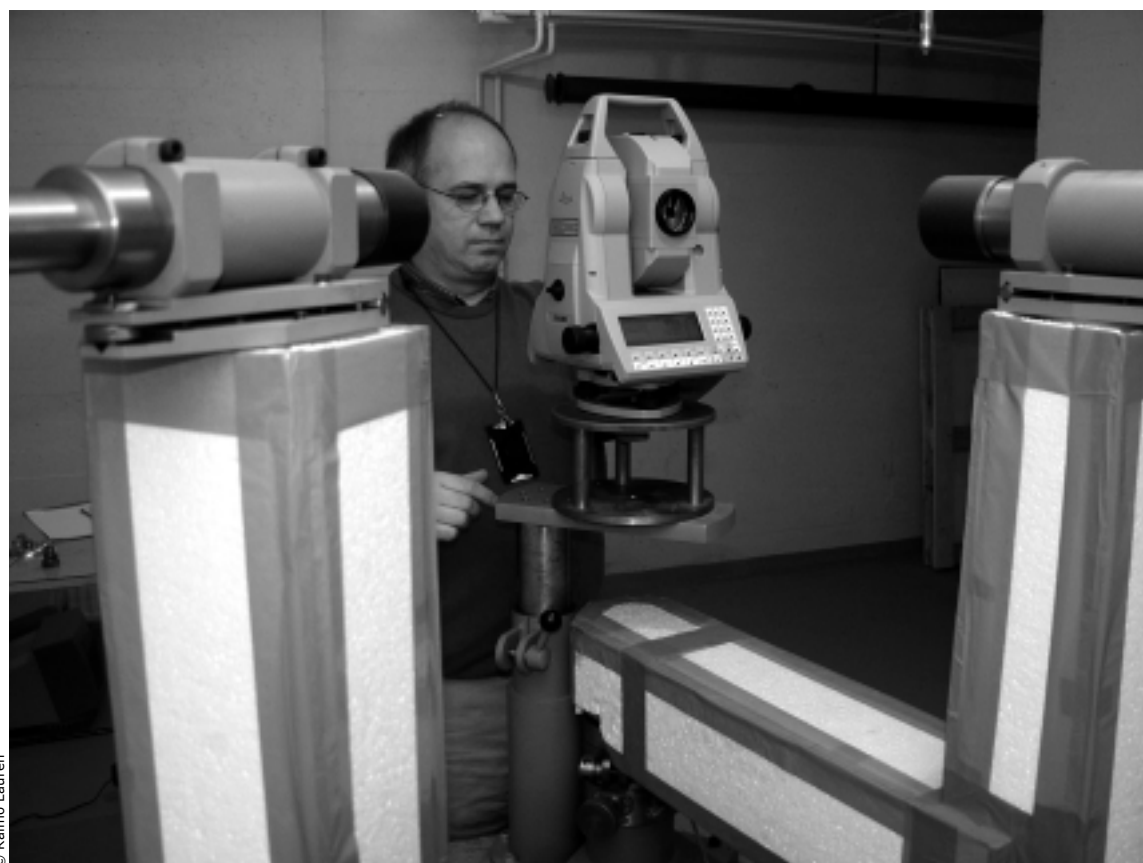
uksissa käytetään kalibroituja mittauslaitteita. Vasta tätä kautta syntyy todellinen kalibrointivelvoite tai -pakko niille mittauslaitteille, joita käytetään po. laatu järjestelmien piiriin kuuluvissa mittauksissa.

Parhailtaan ollaan uudistamassa kaavoitusmittausohjeita. Ainakin tässä vaiheessa näyttää siltä, että kalibrointiohjeet ovat jäämässä pois alkuperäisistä kaavoitusmittausohjeista ja niistä laadittaneen myöhemmin erillinen ohjeisto. Tämä on valitettavaa kaikkinaisen paikatiedon tuotannon ja niiden rekistereiden kannalta, koska oikeaa sijaintitiedon tarkkuusmäärittelyä ei voida tehdä, ellei tiedossa ole koordinaattituotannossa käytettyjen mittauskojeiden/-järjestelmien kalibroinnilla määritettyä tarkkuutta.

Lakiin perustuvasti kalibroinnin suorittamista ja sen valvontaa koskevat yksityiskohtaiset määräykset ja ohjeet puuttuvat. Näin ollen geodeettisten kojeiden kalibroinnin velvoite on noudatettavissa lähes mielivaltaisesti.

Geodeettisten mittauskojeiden ja -järjestelmien kalibrointipalvelutoiminta geodesian laboratoriossa

Yliopiston tehtäviin kuuluu harjoittaa tutkimusta ja antaa siihen perustuvaa alan korkeinta opetusta sekä edistää elin-



Laboratorioteknikko Antero Tihveräinen kalibroimassa robottitakymetrin vaakakehää multikulmakollimaattorissa.

keinoelämää. Em. tehtävät ja oman alan kehittäminen sekä elinkeinoelämän kilpailukyvyyn parantaminen edellyttävät yliopistolta kiinteää yhteistyötä yritysmaailman kanssa.

Kalibrointipalvelutoiminta perustuu pitkäaikaisen tutkimustoiminnan tuloksena kehitettyihin erilaisiin kalibrointi- ja mittauskehyksiin – palvelutoiminnan kautta nämä Suomessa ainutlaatuiset ja maailman mittaluokassakin korkeatasoiset resurssit tarjotaan niiden tarvitsijoiden käyttöön.

Geodesian laboratorio on ainoa paikka Suomessa, joka harjoittaa geodeettisten kojeiden ja mittausjärjestelmien maksullista laboratorio- ja kenttäkalibroinnin palvelutoimintaa. Kalibrointia tehdään määrityskalibrointina. Sitä on harjoitettu menestyksellisesti ja systemaattisesti vuodesta 1986 lähtien.

Toiminnan laatuja järjestelmän mukaisesti tutkimuksen tuloksena kehitetyt kalibrointilaitteet ja -menetelmät, so. kalibrointikehykset, on saatettu kaikkien tarvitsijoiden käyttöön. Lopputuloksena annetaan **kalibrointitodistus**, josta ilmenevät mittauskojeen/-järjestelmän

- systemaattiset virheet
- satunnaisten virheiden aiheuttama hajonnan arvo.

Todistuksen perusteella korjataan mittaushavaintoa tai mittauksen lopputulosta virhettä vastaavalla arvolla. Samalla voidaan todeta

- onko kojeen mittaustarkkuus määräysten mukainen
- vastaako kojeen tarkkuus mittaustehtävän edellyttämää tarkkuutta
- onko kojeen tarkkuus valmistajan ilmoituksen mukainen.

Mittausjärjestelmien kalibroinnissa mittanormaalit ovat

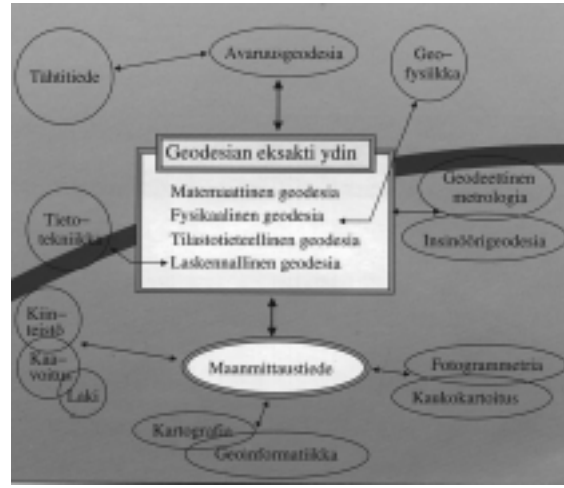
- Etelä-Suomen GPS-testiverkko lähinnä runkomittausta varten
- Otaniemen GPS-testikenttä yksityiskohtien mittausta varten
- Klaukkalan testikenttä jonomittausten ja korkeudenmääritysmenetelmien kalibrointia varten.

Erikseen on vielä mainittava Jämsällä sijaitseva 2 km pitkä etäisyysmittareiden kalibrointiperusviiva. Sen tarkkuus on $\pm 0,5$ ppm, ja siinä on normaali-etäisyyksiä pääsääntöisesti 100 m välein.

Mitä virheitä kalibroinnilla määritetään?

Teodoliitista kalibroidaan vaaka- ja pystykehä sekä määritetään akselivirheet ja pystykehän indeksivirhe.

Elektronisten teodoliittien kohdalla



KALIBROINNIN KOHTEET

Kalibroinnin kohteina ovat

- teodoliitit
- etäisyysmittarit
- takymetrit
- vaaituskojeet
- mittakaavajana
- mittausjärjestelmät: GPS-paikannuslaitteet, teodoliitti- ja takymetripohjaiset tarkkuusmittausjärjestelmät ja kolmijalkoihin kiinnitettävä laserkeilain.

KALIBROINNIN MITTANORMAALIT

Kalibroinnissa objektia verrataan lähtökohtaisesti kertaluokkaa tarkempaan mittanormaaliin. **Kojekalibroinnissa Geodesian laboratorion mittanormaalit ovat**

- kulman osalta multikulmakolimaattori (kulman määritystarkkuus $\pm 0,07$ mgon), pituudessa laserinterferometri (tarkkuus $\pm 0,5$ ppm matkalla 0–60 m) ja mekometri ME5000 (tarkkuus $\pm (0,2 \text{ mm} + 0,2 \text{ ppm})$ matkalla 20 m – 8 km)
- suunnassa, myös horisonttitasossa, suuntakollimaattori (tarkkuus $\pm 0,02$ mgon)
- etäisyysmittarin mittaustaajuudessa taajuuslaskuri (tarkkuus $\pm 1 \times 10^{-8}$)
- laserinterferometripohjainen autokollimaatio-ohjattu pystylattakomparaattori (tarkkuus $\pm (0,0012 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$).

GEODESIAN LABORATORIO

Henkilöstö:

- opettajat: professori Martin Vermeer, yliassistentti, dosentti Jaakko Santala
- henkilöstöä yhteensä 7 hlöä.

Tärkeimmät tutkimusprojektit:

- geodeettisen metrologian tutkimus ja geodeettisten kojeiden kalibrointipalvelutoiminnan kehittäminen
- kalibrointipalvelutoiminnan laatuja järjestelmä ja sen kehittäminen
- GPS-paikannus ja navigointi
- GPS-paikannukseen liittyvä laskenta
- GPS:n hyödyntäminen kartoituksen perusmittauksissa ja paikkatiedon tuotannossa
- geodeettisten 3D-koordinaattimittausjärjestelmien testausmenetelmien kehittäminen
- robottitakymetrin käyttöön perustuvan automaattisen monitorointijärjestelmän kehittäminen.

OPETUS

Geomatikan koulutusohjelman suuntautumisvaihtoehdot ovat:

- mittaus- ja kartoitustekniikka
- geoinformatiikka.

Geodesian oppituolissa on kaksi pääainetta ja vastaavat sivuaineet

- 1. pääaine "geodesia" mittaus ja kartoitustekniikan opintosuunnalla
- 2. pääaine "paikannus ja navigointi" geoinformatiikan opintosuunnalla.

Opiskelijavalinnassa geomatikan koulutusohjelman kokonaissääntö määrää on 40 opiskelijaa.

kehäkalibrointi korostuu, koska normaalisti vaakakehää ei ole mahdollista kiertää, kuten optisessa teodoliitissa; puhdasoppista sarjahavaintomenetelmää ei näin ollen voida

käyttää, mikä eliminoisi kehän periodisten jaotusvirheiden vaikutuksen. Myös pulssilaskuri voi toimia väärin.

Milligooniteodoliitissa kulmavirheen amplitudi voi nousta 1 mgon:iin. Elektronisen sekuntiteodoliitin kohdalla vastaava arvo on n. 0,3 mgon – 0,5 mgon. On kuitenkin olemassa elektronisia tarkkuusteodoliitteja, joissa kulman rekisteröintijärjestelmä on rakennettu siten, että periodisten jaotusvirheiden eliminointi tapahtuu jo yksittäisen kehälukeman kohdalla, jolloin kulmavirheen maksimi arvo on 0,1 mgon – 0,2 mgon.

Elektroninen teodoliitti on herkkä tappikaltevyyden (vaaka-akseli ei ole kohituisuorassa pystyakselia vastaan) arvon muutokselle, ja muutos on yleensä merkki kojeen huolimattomasta käsittelystä. Tappikaltevyyden arvon säätäminen tehdään toleranssiarvoon on työlästä ja tapahtuu aina huollossa.

Kalibrointi on myös osoittanut, että *elektronisissa* teodoliiteissa pystykehän indeksivirhe voi muuttua merkittävästi havaintojen aikana, minkä ilmeisin aiheuttaja on kojeen lämpeneminen ja sen vaikutus kompensattorin toimintaan. Runkomittauksissa tulee pystykulmahavainnot tehdä oikeaoppisesti kohde kerallaan välittömästi molemmissa kojeasennossa ja niin monena sarjana kuin mittausluokka edellyttää.

Etäisyysmittarin rutiinikalibroinnissa virheen arvoina määritetään vakiovirhe sekä taajuusvirheestä johtuva mitta-kaavavirhe. Taajuusvirhe mitataan suoraan säteestä ilmaisinta ja taajuuslaskuria käyttäen.

Vaaituskojeen kalibroinnissa tarkistetaan pääehto: tähtäyssäteen tulee olla vaakasuorassa. Samalla kollimaattorissa tarkistetaan optisen mikrometrin toiminta. Vaaituskoje on ainut mittaustilaite, jota säädetään kalibroinnin yhteydessä – kalibroinnin jälkeen pääehto on voimassa.

Järjestelmäkalloibroinnissa kalibroinnin metodiikka poikkeaa täysin kojekalibroinnista. Järjestelmäkalloibroinnin tilaaja tekee havainnot Geodesian laboratorion kalibrointikehyksellä annettujen ohjeiden mukaisesti ja suorittaa lisäksi mittausten vaatiman laskennan omalla

Mittaustekniikkaa ei voida ajatella ilman kalibrointia, sanoo kirjoittaja, yliassistentti Jaakko Santala.

laskentaohjelmistollaan. Alkuperäiset havainnot ja mittaustulokset luovutetaan lopuksi Geodesian laboratoriolle. Sen tehtävänä on suorittaa tilaajan mittausten ja laskennan oi-

keellisuuden ja tarkkuuden analysointi sekä laatia sen perusteella järjestelmäkalloibrointitodistus.

Neuvoja mittaustilanteen omistajalle kalibroinnin suorittamiseksi

Määrityskalibrointi tehdään uudelle mittaustilanteelle ja sellaiselle kojeelle, joka on ollut huollossa. Lisäksi määrityskalibrointi tehdään yleensä ennen kenttäkautta ja suuremman mittaustilanteen edellä.

Ensimmäinen seurantalibrointi suoritetaan välittömästi määrityskalibroinnin jälkeen. Koje voi olla seurantalibroinnin piirissä niin pitkään, kunnes mittaustuloksen muutos ylittää tehtaan sille salliman arvon tai on muutoin syytä epäillä mittaustuloksen oikeellisuutta. Seurantalibroinnissa kalibrointiväli on säännöllinen ja sen pituus riippuu kojeesta, käyttötarkoituksesta ja käytöstä. Jos/kun koje joudutaan toimittamaan huoltoon, tulee huollon kanssa sopia määrityskalibroinnin suorittamisesta, jotta kojeen kulloinkin tarkkuus on aina mittaajan tiedossa.

Ohjeissa kuten NKMO:ssa ja laatuohjeissa annetaan yksityiskohtaisia ohjeita kalibroinnin suorittamiseksi.



Kirjoittaja on dosentti ja yliassistentti Teknillisen korkeakoulun Geodesian laboratoriossa. Sähköposti: jaakko.santala@hut.fi.

