

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Veikko Ekman

RAKENNUSMITTAUKSET, NIIDEN LAATU JA DOKUMENTOINTI

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Veikko Ekman

Rakennusmittaukset, niiden laatu ja dokumentointi, 55 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu Lappeenranta

Tekniikka Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Työn ohjaaja Pekka Saikko

Opinnäytetyöni tavoitteena on kehittää rakennusmittausta ja dokumentointia rakennustyön laatuvaatimuksia vastaaviksi. Työn laatiminen ja materiaalin kokoaminen perustuvat alan kirjallisuuteen ja omaan pitkäaikaiseen työkokemukseen alalta. Työssäni esitän rakennustyömaan mittausten yleiskuvan ja mittausmenetelmiä, joiden käytännöissä huomioin sekä rakennustyönjohdon että mittausten suorittajien näkökulman. Lisäksi selvitän mittauksen laatua ja sen dokumentointia, jotka ovat tärkeä osa rakentamisen suunnittelua ja toteutusta niin ajallisesti kuin taloudellistikin.

Työni tuloksena teen ehdotelmia laatukansioon liitettävistä mittauksen laadunvalvonta-asiakirjoista. Näistä on esimerkit kahdesta työvaiheesta työn liitteissä.

Asiasanat: Rakennusmittaus, laatu, dokumentointi

ABSTRACT

Veikko Ekman

Construction surveyings, their quality and documentation,

55 pages, 3 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Degree Programme in Technology

Building contractor

Instructor: Mr Pekka Saikko

The objective of my final year thesis is to develop construction surveying and documentation to meet the quality requirements of the building work. The drawing up of the work and the collecting of material are based on the literature of the field and on own long time work experience in the field. I present the general idea of the measurings on a building site and the measuring methods from the point of view of the performers of management and of measurings. Furthermore, I analyse measuring and documentation quality which are important parts of planning and implementing a building as to time saving and economy.

As a result of the work I make proposals for the quality control documents of the measurings to be attached to the folder of the quality.

Keywords: Construction surveying, quality, documentation

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	RAKENNUKSEN MITTAUSPROSESSI	6
	2.1 Rakennusmittauksen työvaiheet, tarkastukset ja dokumentointi pääpiirteittäin.....	7
	2.2 Viranomaismittaukset.....	9
	2.2.1 Kaavoitus ja kiinteistön muodostuminen.....	9
	2.2.2 Rakennusvalvonnan mittaukset	10
	2.3 Moduulimittaus	11
	2.3.1 Koordinaatistot.....	11
	2.3.2 Moduulien käyttö.....	12
3	PAIKALLEENMITTAUS JA TOLERANSSIT.....	13
	3.1 Mittausrunko	13
	3.2 Rakennuskohteen asennusmittaukset	14
	3.2.1 Louhintatyön mittaukset.....	15
	3.2.2 Paalutuksen mittaukset.....	16
	3.3 Perustusten mittaaminen.....	17
	3.4 Alapohjarakenteiden mittaus.....	18
	3.5 Seinien ja pilareiden asennusmittaus.....	19
	3.6 Palkkien ja ristikoiden asennusmittaus	21
	3.7 Toleranssit	22
	3.7.1 Betonirakenteiden toleranssit	26
	3.7.2 Puurakenteiden toleranssit	28
4	MALLINNUSMITTAUS.....	30
	4.1 3D-mittaustekniikkoja	30
	4.1.1 Fotogrammetria	30
	4.1.2 Videodigitointi.....	32
	4.1.3 Maalaserkeilaus.....	32
	4.2 Mallinnusmittauksen käyttö.....	34
5	MITTAUSVÄLINEET JA NIIDEN KALIBROINTI.....	36
	5.1 Perinteisiä rakennusmittausvälineitä	36
	5.2 Takymetri.....	42
	5.3 Lasermittalaitteet	44
	5.4 Satelliittipaikantimet.....	46
	5.5 Työkoneiden ohjaus.....	49
	5.6 Mittauslaitteiden kalibrointi.....	51
6	MITTAUSTEN DOKUMENTOINTI.....	52
7	YHTEENVETO.....	53
	LÄHTEET.....	54
	LIITTEET	
	Liite 1 Toimintaohje mittaustyöryhmälle	
	Liite 2 Mittaustyön tarkastuspöytäkirja	
	Liite 3 Työmaan mittauslaitteiden seurantakalibrointiohje	

1 JOHDANTO

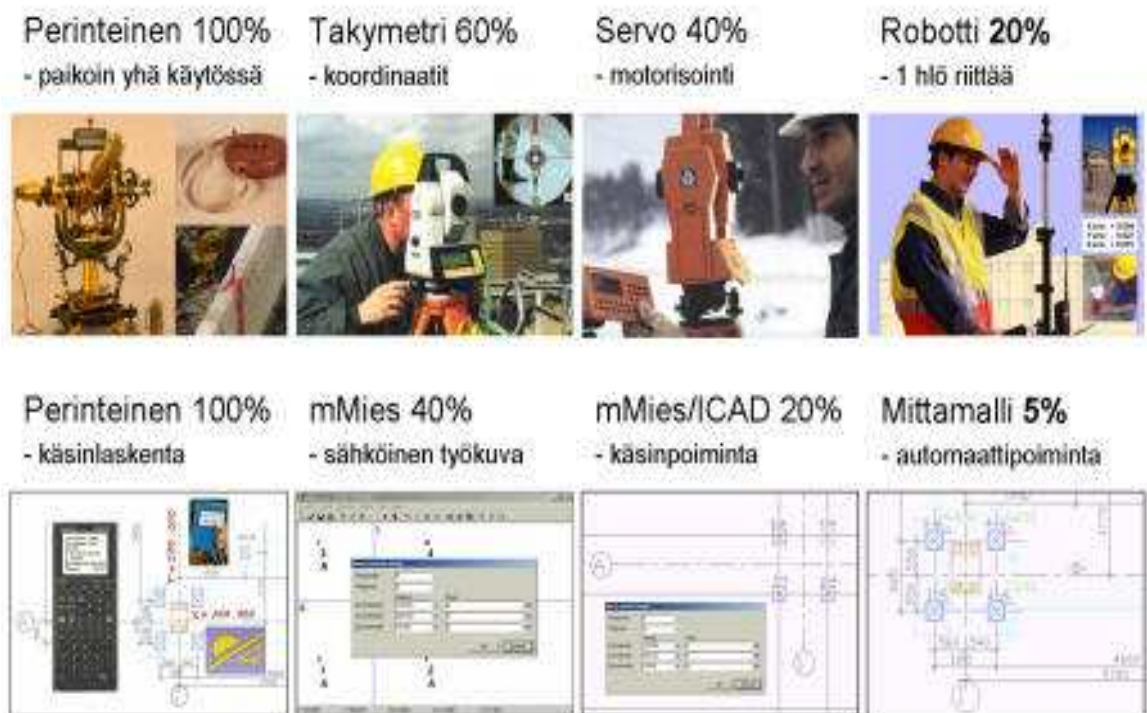
Rakennusmittauksen laatutekijät ja niiden dokumentointi valikoitui opinnäytetyön aiheeksi siitä syystä, että kirjoittajalla noin 30 vuoden kokemus erilaisten rakennusten rakentamisesta ja suurin osa näistä työtehtävistä liittyy rakennusten mittaukseen. Pääosin työkohteet ovat olleet asuinrakentamista eri muodoissaan, mutta niihin sisältyy myös liike- ja teollisuusrakentamista. Rakennettuihin kohteisiin kuuluu lisäksi koulu, kongressitalo ja kirkko.

Kokemukseni perusteella voin sanoa, että rakennusten mittauksiin, tarkastusmittauksiin ja dokumentointiin panostetaan liian vähän, kun huomioidaan, kuinka suuri merkitys oikein suoritetuilla ja toleranssien rajoissa pysyvillä mittauksilla on. Yleensä mittausvirheistä aiheutuvat korjaustoimenpiteet ovat kalliita ja suuritöisiä. Vaikka nykyisin rakentamisessa on yhä enenevässä määrin alettu kiinnittää huomiota rakenteiden mittatarkkuuteen, niin esimerkiksi työmaiden laatukansioista ja työohjeista mittaustyöt puuttuvat.

Yleisesti laatu- ja lujuusvaatimukset kuitenkin selkeytyvät ja standardit määrittelevät toleranssit kaikkien rakenteiden mittatarkkuuteen. Lisäksi vaatimukset mittatarkkuuteen syntyvät laillisuudesta, toimivuudesta ja ulkonäöstä. Opinnäytetyössäni käsittelen ja tutkin olemassa olevia standardeja ja niiden käyttöä sekä teen kehitysehdotelmia mittaustyön dokumentointiin. Työni soveltavaan osuuteen kokoon asiat, jotka tulisi dokumentoinnissa näkyä, ja laadin asiakirjaehdotuksia dokumentoinnin parantamiseksi. Näitä ovat toimintaohjekortit ja tarkastusmittauspöytäkirja, jotka voi liittää työmaan laatukansioon. Lisäksi käsitellään, mitä mittaustyösopimuksen tulisi sisältää sekä liitteeksi laadittu ehdotus työmaan mittauslaitteiden seurantakalibroinnin ohjeiksi.

2 RAKENNUKSEN MITTAUSPROSESSI

Välineiden kehityksen myötä voidaan antaa tarkat koordinaatit rakennuksille ja rakenteille tarvittaessa jopa kaavasunnitteluvaiheessa ja siirtää ne edelleen rakennuspaikalle viranomaismittauksina. Viimeisimpänä sovelluksena satelliittipaikanteisten mittalaitteiden avulla suoritetaan inventointimittauksia, jolloin saadaan tarkat sijainnit ja mitat karttateknisen suunnittelun pohjaksi. Yleisesti laitteiden kehitys on helpottanut mittaustoimenpiteitä. Aiemmin siirrettiin maastossa kiintopisteitä ja korkoasemaa, jotka merkittiin muistiin ja voitiin edelleen jatkaa siirtämistä. Nykyaikaisilla laitteilla mittaaminen on huomattavasti nopeampaa ja tarkempaa. Käytöstä ovat poistumassa viimeisetkin perinteiset sovittamis- ja soveltamisrakennustavat, joissa viranomaisen kanssa tehtiin katselmus rakennustontilla ja katsottiin rakennukselle hyvä paikka ja korkoasema ja sen jälkeen piirrettiin lupapiirustukset. Rakentaminen alkoi kirvesmiehen sijaintimittauksella, ”timpurinkolmiota” ja ristimittausta hyväksi käyttäen. Pienellä säädöllä muodostui rakennuksen sijainti ja muoto. Mittaustyöhön käytettävää aikaa perinteisellä ja nykyaikaisella kalustolla on esitetty seuraavanlaisilla arvoilla (kuva 2.1).



Kuva 2.1. m-Mies www-sivut

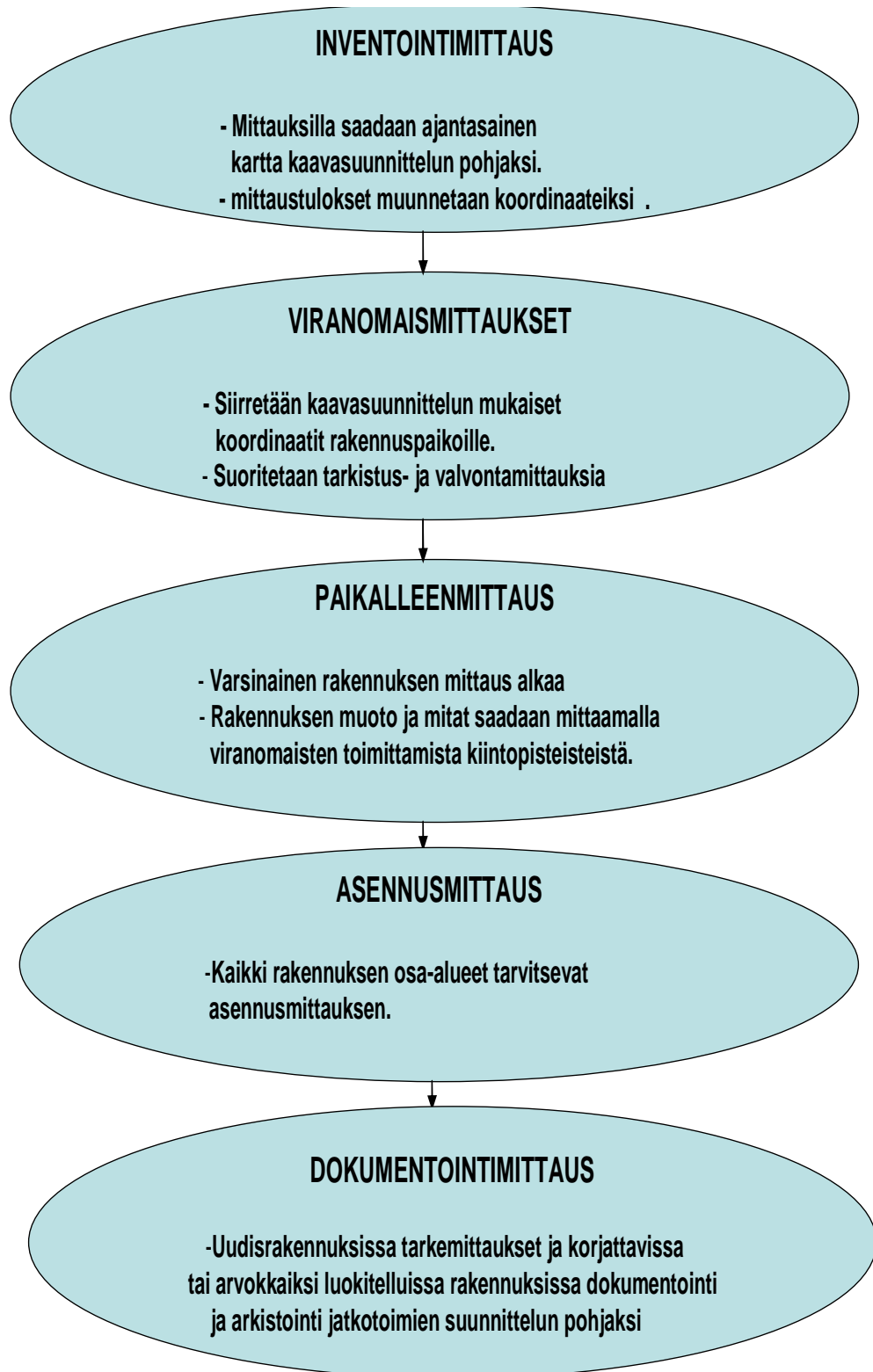
Mittaustyön kehitys selviää edellisestä kuvasarjasta hyvin. Käytettävä aika on lyhentynyt huomattavasti ja työryhmän koko pienentynyt kolmesta tai kahdesta henkilöstä jopa yhteen. Kustannuksia kaluston kehitys ei aivan samassa suhteessa ole laskenut, koska käytettävä kalusto on erittäin kallista.

2.1 Rakennusmittauksen työvaiheet, tarkastukset ja dokumentointi pääpiirteittäin

Rakentamista koskevat mittaukset alkavat jo paljon aiemmin kuin varsinainen rakennustyö tai edes rakennuksen suunnittelu. Ensimmäiset mittaukset rakennustoimintaa varten ovat inventointimittaukset, joiden tulosten perusteella laaditaan rakennuslain määräämä alueiden käytön suunnitelma eli kaava. Lisäksi inventointimittauksien yhteydessä luodaan runkopisteverkko, jota hyödynnetään myöhemmin rakennusalueiden ja rakennusten mittaamiseksi. Kun rakennettavat alueet ja niiden käyttötarkoitus on päätetty, muodostetaan rakennuspaikkoja mittaamalla tontteja. Seuraavassa vaiheessa mitataan suunnitellun ja hyväksytyt asemapiirustuksen mukaisesti rakennuksen paikka. Kaikki edellä olevat mittaukset kuuluvat viranomaismittauksiin ja niistä jää dokumentit. Silloin, kun rakentamiseen liittyy vanhoja rakennuksia, on mahdollista, että ensimmäinen mittaus-toimenpide on dokumentointimittaus. Usein on niin, että vasta dokumentointi mahdollistaa rakentamisen suunnittelun jatkamisen.

Joka tapauksessa asemapiirustuksen ja kunnan toimittamien sijaitipisteiden mukaisesti lähdetään varsinaiseen rakentamistyöhön. Tästä eteenpäin rakennusten ja rakenteiden mittaaminen, tarkastusmittaukset, mittauksen laatu ja dokumentointi ovat rakentajan ja tilaajan valvojan vastuulla. Toisin sanoen asiakkaalle ei jää minkäänlaista dokumenttia töiden suorittamisen oikeellisuudesta. Tämän epäkohdan tutkiminen ja käsittely sekä parannusmahdollisuuksien etsiminen on oleellisin osa opinnäytetyötäni. Perustusten sijainti tarkastetaan vielä rakennusvalvonnan puolesta, mutta sen jälkeen tapahtuvat rungon, kattorakenteiden, sisäosien ja piha-alueiden ja muut vastaavat mittaukset jäävät silmämääräisten tarkastusten varaan.

Seuraavassa esityksessä (kuva 2.2) rakennuksen mittausprosessin päävaiheet kaaviokuvana.



Kuva 2.2. Rakennuksen mittausvaiheet (V. Ekman)

Mittaamista vaativia viranomaistoimituksia ovat kaava-alueiden ulkopuolella muun muassa lohkominen, halkominen, vesialueiden ja -jätöjen jaot, tietoimitukset, tilusvaihdot ja erilaiset uusjaot. Asemakaava-alueella erotetaan tonttijaon mukainen tontti itsenäiseksi kiinteistöksi tontinmittauksella. Kiinteistön muodostukseen haja-asutusalueella taas yleisimmin käytetään lohkomista, jolloin määräalana myyty tai muuten omistusoikeutta vaihtanut ala lohkomisella muuttuu itsenäiseksi kiinteistöksi. Mittauksia suorittavat kaavoitusalueilla kaupungin kiinteistöinsinööri ja muualla valtion maanmittausviranomaisen. Kaikki mitatut kiinteistöt ovat rekisteröitynä valtion ja kuntien ylläpitämissä kiinteistörekistereissä. Kaavan pohjakartan tarkkuusvaatimukset on määritelty maanmittauslaitoksen toimesta. Sijaintitarkkuusvaatimus ilmoitetaan pistekeskivirheenä eli X- ja Y-keskivirheen resultanttina: $mp = \pm \sqrt{mx^2 + my^2}$.

Sallitut rajamerkkien mittapoikkeamat on jaettu kolmeen osaan:

- | | |
|--|--------|
| 1. mittausluokka, kaupunkien asemakaava-alueet. | 0,12 m |
| 2. mittausluokka, maalaiskuntien taajama kaava-alueet. | 0,18 m |
| 3. mittausluokka, ranta-asemakaava-alueet | 0,25 m |

2.2.2 Rakennusvalvonnan mittaukset

Rakentamisen alkaessa asemapiirustukseen merkitylle, rajoihin sidotulle ja päämitoitetulle rakennukselle tai rakennelmalle pystytään näin ollen antamaan tarkat koordinaatit. Tämä tapahtuu tulkitsemalla mitat koordinaateiksi, jotka viranomaismittauksina toimitetaan rakennuspaikalle. Rakennuspaikalle merkitään useimmiten rakennuksen uloimmat kulmat. Mittaaminen perustuu kiintopisteisiin tai luotettaviin rajamerkkeihin. Rakennuspaikalle tuotuja mittapisteitä alkavat rakentajat hyödyntämään. Yleensä kaavoitusalueilla mittaavat viranomaiset suorittavat tarkemittauksia ainakin perustusten valmistumisen jälkeen. Tarkkoja toleransseja tarkemittaukseen ei ole kirjattu, mutta yleensä puhutaan mittapoikkeamasta, joka on enintään 20 mm. Rakennusvalvonnan mittaukset on tilattava erikseen.

2.3 Moduulimittaus

2.3.1 Koordinaatistot

Mittauksissa käytetään lähes aina jotain kiintopisteisiin sidottua suorakulmaista koordinaattiverkkoa, johon mittauspisteet sijoittuvat ja ovat helposti paikannettavissa. Koordinaattiverkkoja kutsutaan järjestelmälinjoiksi. Rakennuksissa ja niiden suunnittelussa käytetään usein moduuleihin sidottua mitoitusta, joka onkin mittaus toimintojen kannalta helpoin ja nopein tapa toteuttaa mittaaminen (kuva 2.4). Järjestelmälinjat ovat useimmiten seinälinjojen ja pilarien keskilinjojen kautta kulkevia. Rakennuksen muut mitat ovat niihin sidottuja ja helposti laitteilla mitattavissa. Rakennuksen mitoitustapoja on kolme: Ketjumitoitus, jossa kaikki mitattavat osiot merkitään omana mittanaan ja jotka yhteenlaskettuna antavat kokonaismitan. Linjamitoitus, joka nimensä mukaisesti perustuu mittalinjaan. Mittalinja toimii lähtöpisteenä ja kuhunkin mittapisteeseen on annettu mitta mittalinjasta. Peruslinja eli moduulimitoitus, jossa kaikki mitat ovat sidottuja perusmoduulilinjaan, josta mitta annettu ns. juoksevana mittana eli lisätään mitattava etäisyys tai korkeus aina edelliseen. Peruslinjamitoitus parantaa virheiden huomauttamista.

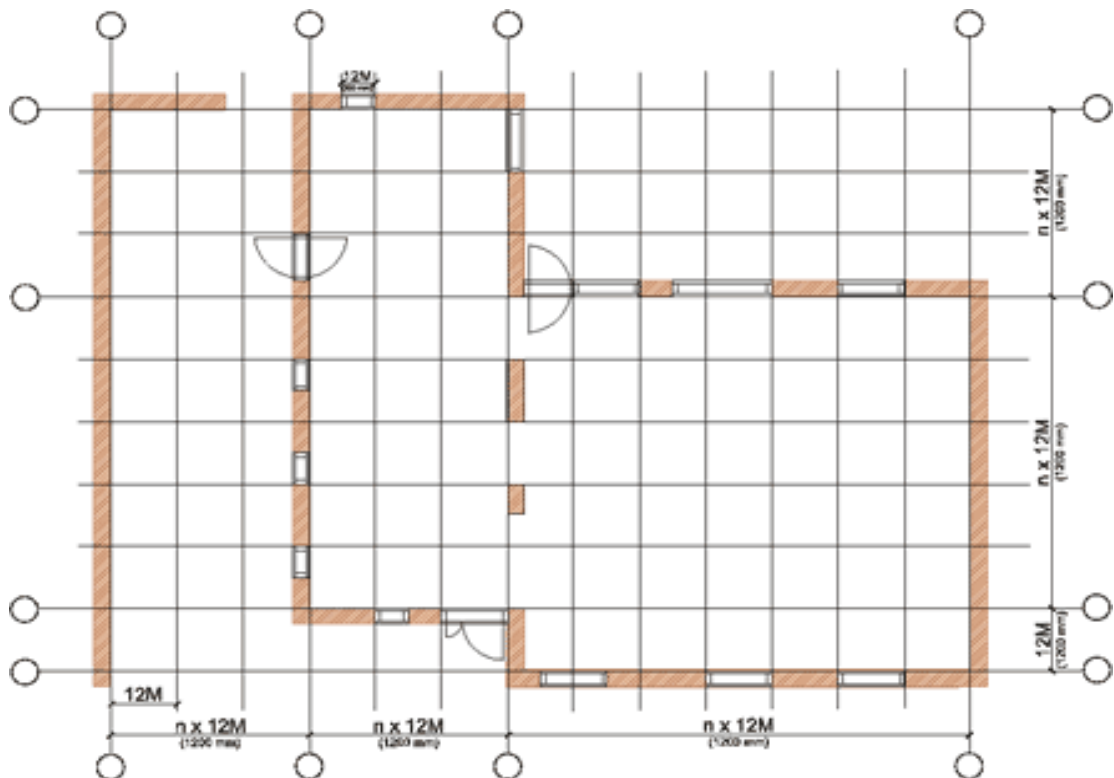


Kuva 2.4. Moduuleihin sidottua peruslinjamitoitusta tyypillisimmillään.

Vuosaaren huoltoterminaali

2.3.2 Moduulien käyttö

Moduulimitoituksen perusyksikkö on 1M eli 100 mm ja sen kerrannaiset 3M, 6M ja niin edelleen. Ovet, ikkunat ja kalusteet ovat olleet jo kauan moduulimittaisia eli suunnittelussa käytetään moduulimittoja ja rakennustyömaalla tehdään aukot ja kalusteiden paikat moduuleihin, joihin on lisätty asennusvara. Näin saavutetaan yhteinen ymmärrettävä järjestelmä, niin suunnittelijan, valmistajan kuin rakentajankin kesken (kuva 2.5). Myös muurauskappaleista suurin osa on saumoihin moduulimittaisia. Asiansa osaava suunnittelija huomioi moduulimitat suunnitellessaan ja mitoittaessaan, esimerkiksi julkisivua. Näin ollen, koko rakennuksen ollessa moduuleihin sidottu pääsee helpommin parempaan lopputulokseen. Korkeussuunnassa moduulit ovat yleisesti sidottu lattiakorkoihin, joista edelleen mitoitetaan muita korkoja. Seuraavassa esitetty moduulimitoituksen periaate pientalon pohjapiirustuksen osalta. Kuvasta on selkeästi havaittavissa annettujen mittojen soveltuvan niin oville, ikkunoille kuin kalusteille tai muurauskappaleillekin.



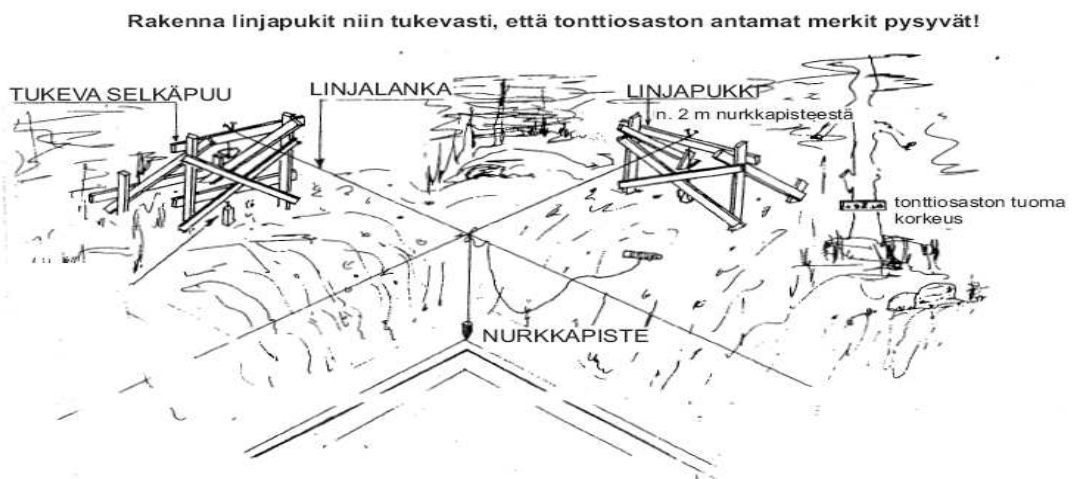
Kuva 2.5. Moduulimitoituksen periaate (betoniteollisuus)

3 PAIKALLEENMITTAUS JA TOLERANSSIT

Seuraavassa käsittelen kohteen maastoon merkitsemistä ja asennusmittausten työvaiheet sekä mittauksiin liittyviä tarkkuusvaatimuksia.

3.1 Mittausrunko

Suurten rakennusten mittauksessa käytetään erillistä runkopisteistöä. Pienemmissä kohteissa, kuten omakotitalot ja rivitalotyypiset rakennukset, ei varsinaista mittausrunkojärjestelmää tarvita. Käytännössä mitataan viranomaisten tuomista kiintopisteistä tarkistusmerkit. Useimmiten mittalinjan taakse, kiinteään ja liikukumattomaan paikkaan mitataan tarkistusmerkit ja kunnan mittamiehet tuovat rakennuspaikalle korkeusmerkit. Omakotirakentamisessa on edelleen käytössä linjapukit (kuva 3.1), jotka ovat erittäin käyttökelpoiset pienissä kohteissa, kun ei ole käytössä kallista teodoliitti- tai takymetrikalustoa. Linjapukkien toimivuus perustuu vankkoihin liikkumattomiin pukkeihin tuotuihin mittalinjoihin, joiden väliin on asennettu linjanaru tai -vaijeri. Kahteen suuntaan viritettyjen linjalankojen risteyskohdasta voidaan luotilangan avulla mitata rakennuksen kulma tai nurkka. Aiemmin myös suuremmissa rakennuskohteissa olivat käytössä linjapukit. Kehittyneempi versio pukkien käytöstä saadaan, kun havaitaan teodoliitilla pukeissa oleva linja kahdesta suunnasta ja näin määritetään kulmapiste. Teodoliittimitauksella saadaan muita menetelmiä tarkempia tuloksia ja voidaan käyttää huomattavasti pidempiä mittauspisteiden välejä.



Kuva 3.1. Perinteinen linjapukkijärjestelmä. (www.jyvaskyla.fi)

Varsinaista mittauspisteiden runkoverkkoa tarvitaan siis silloin, kun kyseessä on suuri ja monimuotoinen rakennus sekä käytetään mittauspisteiden siirtämiseksi takymetriä. Käytännössä rakennuksen runkopisteverkko kannattaa rakentaa tonnin raivaustöiden päätyttyä, näköyhteyksien ollessa vielä esteettömiä. Mittausrunkopisteiden paikat valitaan niin, että niitä voidaan hyödyntää rakennustyön edetessä asennusten mittaamiseen sekä tarkistus- ja seurantamittaukseen. Runkoverkko sidotaan liospisteiden avulla kunnalliseen koordinaattijärjestelmään.

3.2 Rakennuskohteen asennusmittaukset

Asennusmittauksiin voidaan katsoa kuuluviksi vesi-, viemäri-, kaukolämpö- ja kaapelikaivantojen mittaaminen sekä kulkuväylien mitoitus. Yleisesti käytössä on rakennustapa, jossa ennen varsinaisen rakennustyön alkamista kaivantoihin sijoitettava tekniikka tuodaan jo valmiiksi rakennuksen sisäpuolelle. Samoin kulkuväylät on järkevää rakentaa paikoilleen, mutta valmiit pintamateriaalit tehdään vasta rakennustyön jälkeen. Kaivantojen mittauksessa on oltava valmiit piirustukset vesi- ja viemäriinjoista, samoin kaapeleiden ja kaukolämmön osalta. Asemapiirustuksessa näkyvät nämä asiat ja lisäksi kulkuväylät, parkkipaikat ja muut kaivuuta vaativat osiot. Putkikaivantojen mittaamisessa on kuvan 3.2 mukainen säädettävällä kallistuksella varustettu tasolaser erittäin käyttökelpoinen laite.



Kuva 3.2. Putkikaivannon mittausta tasolaserilla, jossa kallistuksen säätö (Spectra presion laser)

Mittaaminen voidaan suorittaa astetta yksinkertaisemmalla tasolaserilla, mutta kaivuukoron saaminen vaatii jatkuvaa etäisyyksien mittaamista ja vastaanotimen korkeussäätöä. Kaivantojen korkomittaukseenkin on olemassa perinteinen toimintamalli, jossa kaivannon päihin mitataan ja asennetaan välimatkan ja sen vaatiman korkeuseron mukaiseen korkeuteen sihtilauta. Kaivannon pohjalla kuljetetaan mittalattaa, jonka korkoasemaa tarkkaillaan sihtilautojen avulla. Tämä kuten monet muutkin perinteiset mittaustavat vaativat kaksi henkilöä suorittamaan mittausta. Nykyaikaisin versio korkojen ja kaivannon sijainnin mittaamiseen on kaivinkoneessa oleva mittalaite, johon on syötetty kaivettavan alueen koordinaatit. Näiden mukaan yhdistetty GPS- ja lasermittalaitejärjestelmä ohjaa koneen kuljettajaa. Periaatteessa ei ulkopuolista mittauksen suorittajaa tarvita ollenkaan. Suoritettaessa mittauksia kaivannoissa on kiinnitettävä erityistä huomiota työturvallisuuteen. Puutteellisesti luiskatut tai liian vähäisellä tuennalla olevat kaivannot ovat hengenvaarallisia.

3.2.1 Louhintatyön mittaukset

Louhintatöihin rakennustonttien kohdalla joudutaan yhä useammin, kun tonttimaan hinta on korkea ja kaavoituksessa ei kovin pieniä esteitä kierretä. Usein kaivannoissa tulee vastaan ennakolta tiedostamattomia kalliomuodostumia, jotka joudutaan räjäyttämään tai muuten louhimaan suunniteltujen korkeusasemien saavuttamiseksi. Suuremmille louhittaville alueille suoritetaan inventointimittaus, jolla selvitetään alueen koko ja louhittavan massan määrä. Ennen räjäytyksen vaatimiin porauksiin ryhtymistä mitataan ja merkitään louhittava alue. Räjäytystyön edetessä suoritetaan jatkuvasti mittauksia korkotasosta ja louhittavan alueen riittävydestä. Kuvassa 3.2 perustusten louhinnan mittausta.



Kuva 3.3. Tennispalatsin perustusten louhinta

3.2.2 Paalutuksen mittaukset

Paalutustyön laatusuunnitelmassa on määritelty tarvittavat mittaukset. Kaikissa tapauksissa juntattavien paalujen paikka on mitattava ja merkittävä rakennepiirustusten mukaisesti (kuva 3.4). Parhaaseen mittaustarkkuuteen pääsee takytrimittauksella. Laitteeseen on syötetty paalujen sijaintikoordinaatit, jotka mitataan ja merkitään paalutettavalle alueelle. Asennettavia paaluja tarkkaillaan asennuksen aikana, suorittamalla mittauksia reaaliaikaisesti. Paalutuksen loppulyöntivaihe vaatii mittauksia, kuten staattisen koekuormituksen tuloksien saaminenkin. Paaluihin mitataan katkaisukorot ja katkaistujen paalujen päälle suoritetaan tarkemittaus, jonka tulokset kirjataan paalukarttaan.



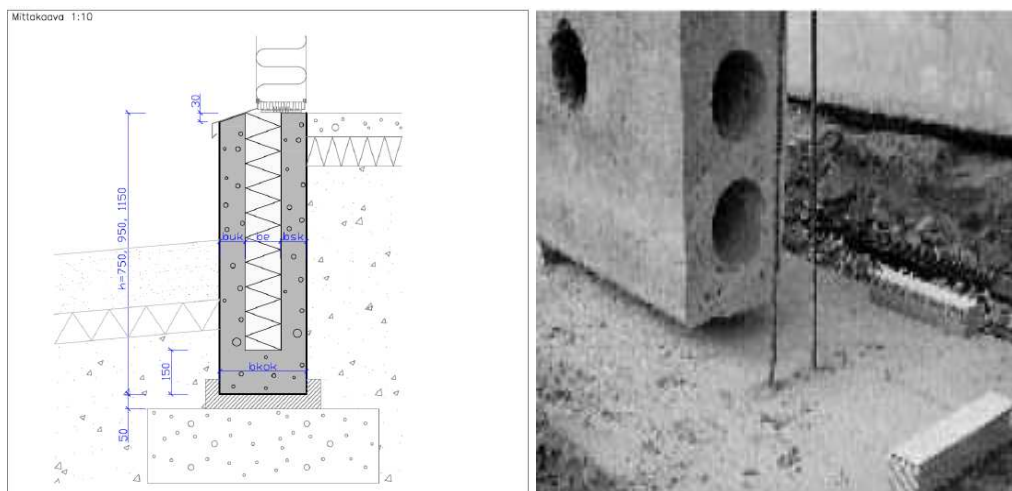
Kuva 3.4. Paalutustyö, paalut juntataan ennakkoon mitattuihin ja merkattuihin paikkoihin. (Rudus)

Paalutuksen valmistuttua on mittaamalla saatu aikaan myös tarkepiirustus, jossa näkyvät mittapoikkeamat. Rakennesuunnittelija tekee laskelmat mittapoikkeamien osalta ja määrittelee korjaustoimenpiteet. Korjaustoimenpiteitä ovat paalunturan suurentaminen ja korkeuden lisääminen sekä raudoituksen lisäys. Suurempien poikkeamien osalta, tai kantavuuden muuten ollessa liian heikko, joudutaan paaluja lisäämään vaaditun lujuuden saavuttamiseksi. Korjaus- ja lisätoimenpiteet aiheuttavat lisämittauksia.

3.3 Perustusten mittaaminen

Lähtökohtana on raivattu rakennuspaikka. Mittaustyö alkaa rakennuksen kulmien ja nurkkien mittaamisella ja merkitsemisellä. Nykyään mittauslaitteena tässä vaiheessa on takymetri. Viranomaismittauksena tuodut peruspisteet sidotaan rakennuksen omiin koordinaatteihin ja kiintopisteisiin. Mittaustyön helpottamiseksi rakennuspaikalle merkitään riittävän laaja runkopisteverkko, josta saadaan eri rakennusvaiheissa helposti mittoja asennustyön tueksi. Perustaminen vaatii aina kaivamista ja massanvaihtoja, joten näitä varten on tulevan rakennuksen ympärille järkevää siirtää peruskorkoja. Näistä saadaan kaivamisen ja täyttöjen vaatimia korkeusasemia mitattua tasolaserilla tai vaaituskojeella.

Anturoiden tekeminen alkaa mitoittamalla ja merkitsemällä valmiin anturapohjan päälle niiden paikat. Anturoiden korkoja voidaan ottaa ja tarkkailla valuvaiheessa tasolaserilla tai vaaituskojeella. Valmiiden anturoiden päälle taas mitataan ja merkitään sokkelin mitoitus. Kulmat ja nurkat merkitään ja elementtirakenteisen sokkelin ollessa kyseessä, myös saumojen paikat mitataan ja merkitään. Pidempien linjojen osalta on otettava linjan mukaisia välimittauspisteitä asennuksen helpottamiseksi. Linjojen merkitsemiseen hyvä laite on optinen teodoliitti. Anturavalujen mittaustoleranssit eivät ole kovin tarkkoja, mutta sokkelirakenteen toleranssien on oltava muutaman millimetrin sisällä. Muutoin vaikeutetaan seuraavien työvaiheiden vaadittavan mittaustarkkuuden saavuttamista.



Kuva 3.5. Sokkelielementin mitoitus ja asennus (Parma)

Erityistä tarkkuutta perustusvaiheen mitoittamisessa vaativat hissien pohjarakenteet ja väestönsuojan perustukset, sekä eri tekniikoiden läpiviennit. Elementtirakentamisessa anturoihin ja sokkeleihin asennetaan lähes aina erilaisia tartuntoja ja pulttikehiä, joiden toleranssit ovat pieniä. Esimerkiksi jo viiden millimetrin virhe mittauksessa saattaa aiheuttaa ongelmia seuraavissa asennuksissa. Pulttikehiä asennettaessa takymetri on paras mittalaite. Erityistä tarkkuutta noudattaen paikat saadaan mitattua myös nauhamittauksella. Valujen jälkeen, ennen betonin kovettumisen alkamista, suoritetaan pulttikehien, tartuntojen ja erilaisten kiinnikkeiden tarkemmittaus.

3.4 Alapohjarakenteiden mittaus

Maavaraisissa lattioissa mittaustoimenpiteet keskittyvät lähinnä korkojen hallintaan, mutta mittaustoimenpiteitä aiheuttavat erilaiset varaukset, liitynnät ja liikuntasaumamat. Teollisuusrakentamisessa on usein erityisvaatimuksia lattioiden suhteen. Joissain tapauksissa vaaditaan normaalia huomattavasti kantavampia ratkaisuja, jotka lisäävät mitoituksen tarvetta. Erikoistapauksia ovat koneiden ja laitteiden alustat, jotka voivat olla erittäin massiivisia ja vaativat mittaustoimia erikoispiirustusten mukaisesti. Elementtirakenteisissa alapohjissa, kuten ontelolaattastot, mitataan laattojen asennuskorkoja ja sijaintia sekä erilaisia läpivientejä (kuva 3.6). Erityistä huomiota elementtirakenteiden asennusmittauksessa on kiinnitettävä tukipintojen riittävyteen. Tämä varmistetaan jatkuvalla mittaus-tarkkailulla.

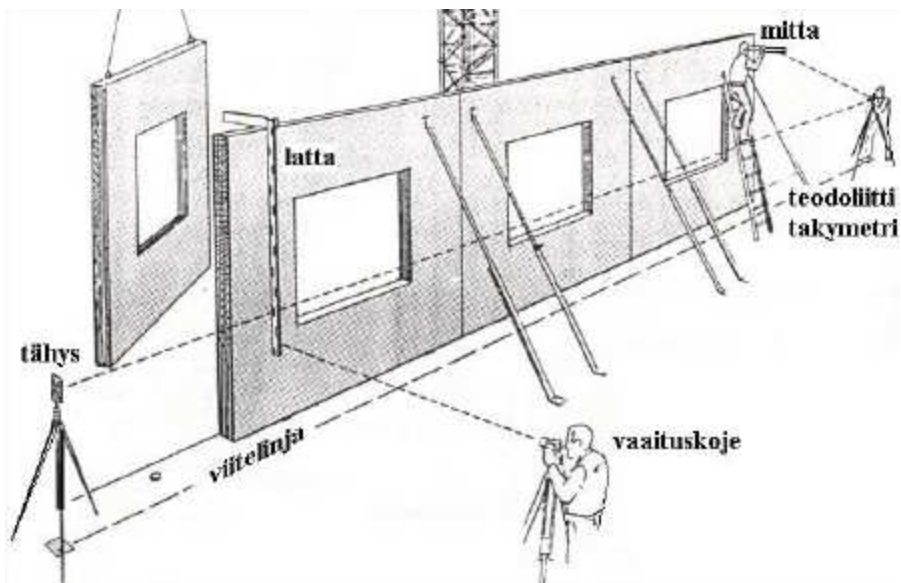


Kuva 3.6. Ontelolaattarakenteinen alapohja (kuva Parma)

Valmiiden lattioiden suoruutta voidaan tarkistusmitata yksinkertaisimmillaan vaaituskojeen tai tasolaserin avulla. Nykyinen tekniikka tosin mahdollistaa laserkeilauksenkin suorittamisen. Tällöin niin sanotulla maalaserkeilaimella kohteesta mitataan dieliteelinen pistepilvi, joka edelleen voidaan muuttaa 3D-lattiamalliksi.

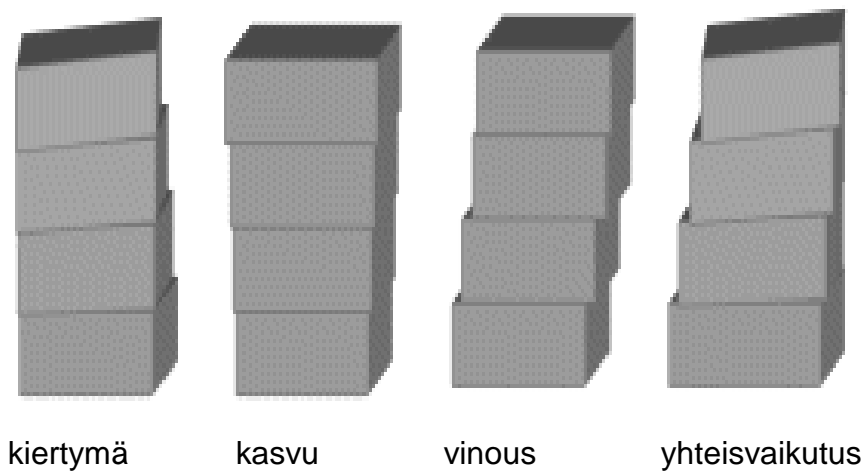
3.5 Seinien ja pilareiden asennusmittaus

Seinien ja pilareiden asennusmittauksessa on lähes poikkeuksetta sama periaate. Mitataan ja merkataan seinän tai pilarin alapään paikka ja asennetaan tai rakennetaan seinä tai pilari, jonka jälkeen mitataan rakenteen yläpää paikalleen. Toinen mahdollinen malli on, että seinä tai pilari asennetaan kahden rakenteen väliin. Silloin mitataan ja merkataan ylä- ja alapää sekä suoritetaan asennus tai rakentaminen. Seinä- ja pilarilinjojen mittauksessa paras mittauslaite on takymetri tai teodoliitti, mutta pienemmissä kohteissa riittää mittanauhamittaus ja korkeuksien määrittämiseen vaaituskoje tai tasolaser. Mittalinjana voidaan käyttää rakenteen runkolinjaa tai rakenteen pinnan linjaa. Seuraavassa kuvassa esitetty elementtirakenteisen seinän asennus- ja tarkemittauksen toimenpiteet.



kuva 3.7. Elementtirakenteisen seinän asennusaikaiset mittaukset.

Seinä- ja pilarijärjestelmien suoruutta on tarkkailtava rakentamisen aikana, ettei tapahdu kertaantuvaa virhettä. Näin voi käydä esimerkiksi elementtiseinärakenteessa helposti, silloin kun elementti on kiero ja jää toleranssin raja-arvoihin. Virhe tapahtuu, kun päälle asennetaan toinen samanlainen ja toleranssi tulee toistamiseen käytettyä samaan suuntaan. Kuvassa 3.8 on esitetty korostetut mallit mittausrakenteiden kertaantumisen vaikutuksesta. Kertautuvia virheitä esiintyy muun muassa kerrostalojen elementtirakentamisessa.



Kuva 3.8. Erilaisten mittausrakenteiden vaikutus rakenteeseen V.E.

Pilareiden kohdalla helposti virhettä aiheuttaa loivempikin käyryys, esimerkiksi käytettäessä vesivaakaa pystysuoruuden mittaamiseen, saattaa korkean pilarin yläpää ylittää toleranssin rajat ja virhe kertaantuu seuraavassa kerroksessa. Aina korkeamman rakenteen ollessa kyseessä on suoritettava tarkkailumittaus. Tähän tarkoitukseen hyvä väline on teodoliitti tai takymetri. Hissikuilujen ja porraskäytävien rakentaminen vaatii erityistä mittatarkkuutta. Rakennetaanpa hissikuilu paikalla tai elementtirakenteisena, niin pystysuoruuden ja kulmien säilymiseen vaaditaan jatkuvaa mittausmittausta. Perinteinen keino säilyttää hissikuilun muoto on merkitä alimman kerroksen lattiaan kuilun muoto ja luodata siitä ylöspäin nousevat rakenteet. Tässä mittauksessa perinteinen luotilanka on erittäin käyttökelpoinen. Monikerroksista rakennusta mitattaessa hissikuilua ja porraskäytävää voidaan käyttää muiden mittojen jakamiseen niiden mittatarkkuusvaatimusten vuoksi.

Väestönsuoja vaatii aina erityisiä mittaustoimenpiteitä. Laitteille asennettavilla varauksilla on erikoispiirustukset. Oven ja pakokäytävän luukun asennus vaatii tarkan mittauksen.

3.6 Palkkien ja ristikoiden asennusmittaus

Palkkien ja ristikoiden asennusmittauksessa on aina kiinnitettävä erityistä huomiota tukipintojen riittävyteen. Asennusmittauksen toleranssit vaihtelevat sen perusteella millainen rakenne ja materiaali on kyseessä. Betonirakenteissa sivuttaissuunnassa on enemmän virhevaraa kuin esimerkiksi teräsrakenteessa, jonka pulttiliitoksissa ei käytännössä toleransseja ole ollenkaan. Puurakenteisia palkkeja ja ristikoita asennettaessa korostuu tukipinnan riittävyden merkitys. Aina runkoa mitoitettaessa tai pystytettäessä on huomioitava ristikoiden asennusmita. Seuraavassa kuvassa (3.9) näkyvän kupolirakenteen paikalleen- ja asennusmittaus on erityistä tarkkuutta vaativa toimenpide; kaikille pilareille on suoritettava tarkemittaus ennen ristikkoasennusta.



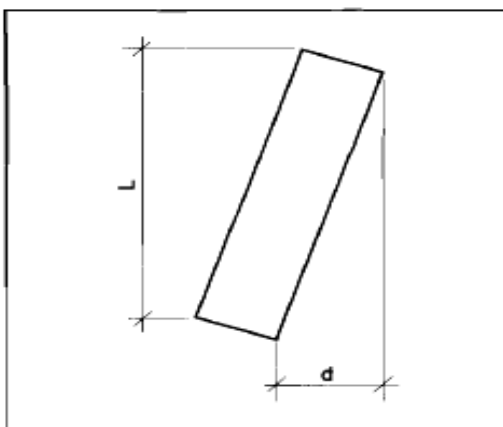
Kuva 3.9. Vaativa mittauskohde, Turkuhalli (kuva Turun kaupunki)

3.7 Toleranssit

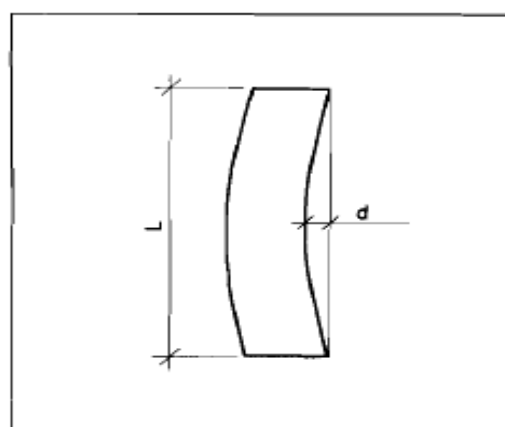
Tässä luvussa käsittelen rakentamiseen liittyviä toleransseja.

Toleranssi tarkoittaa tietyn mitan tai ominaisuuden sallitun poikkeaman tai vaihtelun suuruutta. Mittauksissa pyritään aina ns. nollatoleranssiin, mutta laitteistojen tarkkuus ja niiden käyttö asettavat omat rajoituksensa mittaustarkkuuteen. Kaikille annetuille mitoille on olemassa toleranssi. Rakennuksen paikalleen mittaamisessa on toleranssit, samoin rakennuksen ulkomitoille, vaikkei niitä kovin usein näekään. Kuitenkin näiden on oltava rakennuttajan, rakentajan ja viranomaisten hyväksymissä rajoissa. Toleranssit koskevat yleensä mittatarkkuutta ja edelleen sijainti- ja muototarkkuutta sekä toimivuuden vaatimaa tarkkuutta. Toleranssit ovat aina ehdottomia raja-arvoja. Kuitenkin rakennustyömailla hyväksytään raja-arvojen ylityksiä, vaikka näiden pitäisi johtaa korjaus- tai purkutoimenpiteisiin. Käytännössä esimerkiksi monien lattiapinnoitteiden asennus on mahdollista, jos betonivalun ja sen tasoitusten mittatarkkuus ei ole huomattavasti parempi kuin mitä olemassa olevat määritellyt toleranssit määräävät. Rakentamistoleranssi muodostuu siis kolmen tekijän yhdistelmästä: valmistus- paikalleenmittaus- ja asennustoleranssista. Nämä kolme taas muodostuvat ulottuvuuden, muotojen, sijainnin ja suunnan toleransseista, joihin sisältyy kaikki kuvissa olevat mittapoikkeamatyypit.

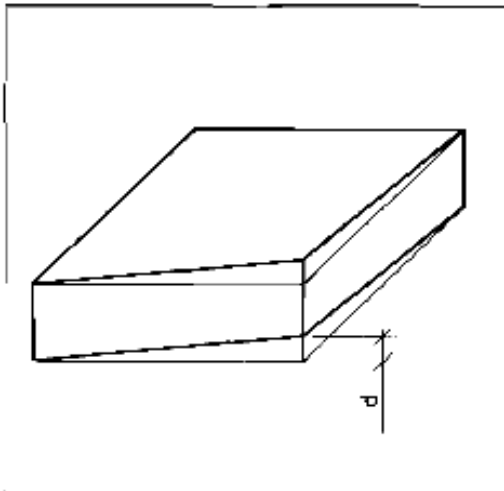
Mittapoikkeamatyypit kuvasarja (RT- kortti 02-10102)



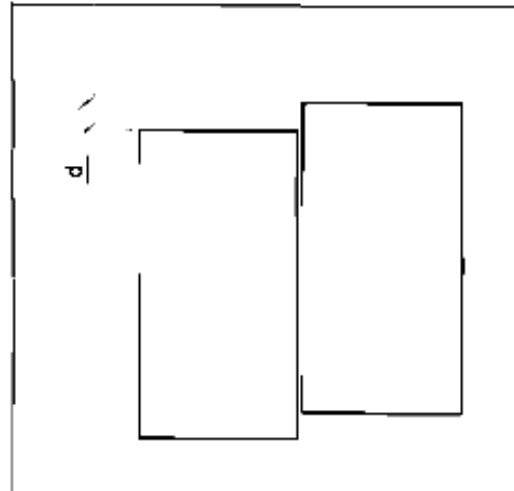
Kuva 1.
Poikkeama pystysuorasta d



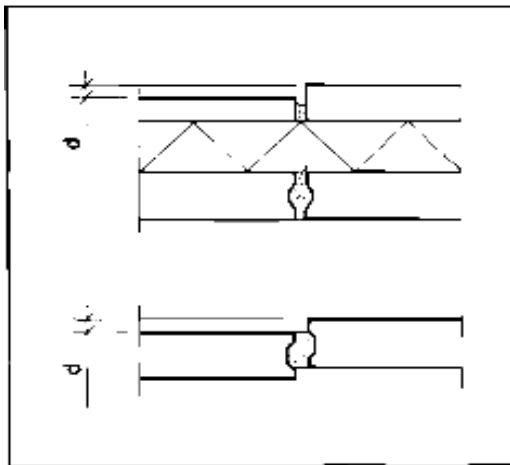
Kuva 2.
Käyryys d



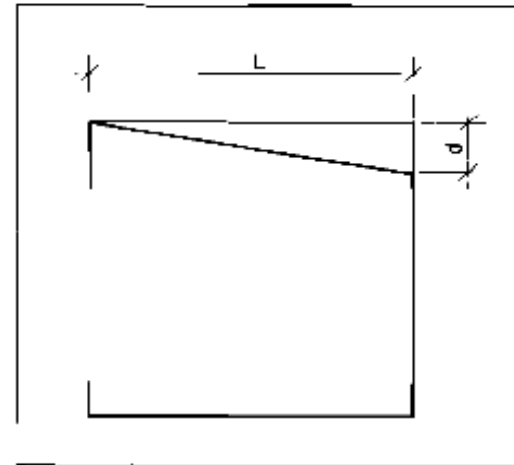
Kuva 3.
Kierous d



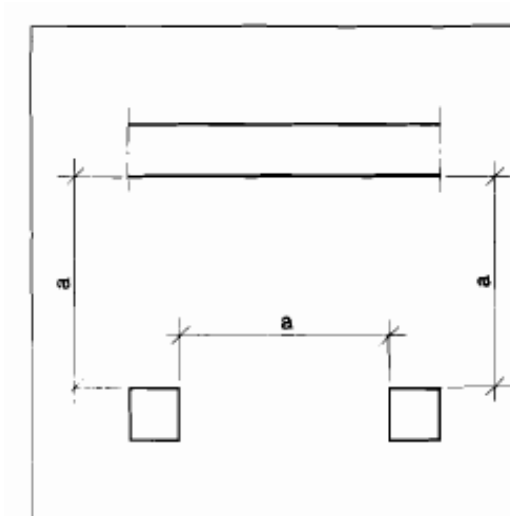
Kuva 4.
Seinän yläreunan hammastus d



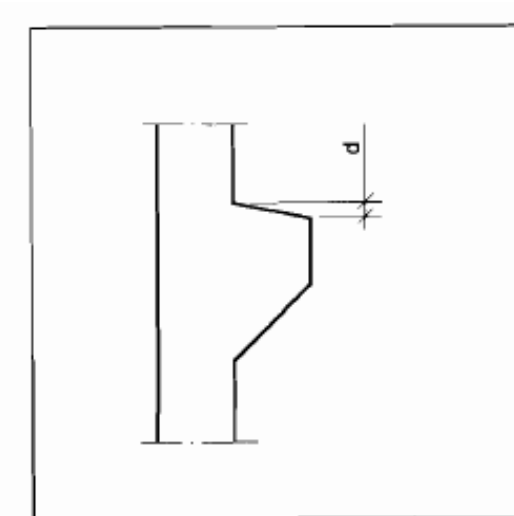
Kuva 5.
Seinäpinnan hammastus d



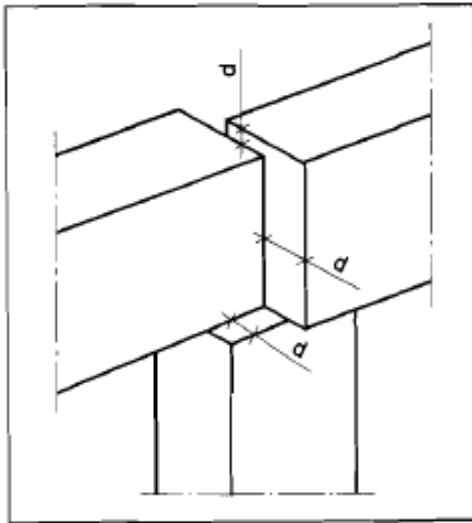
Kuva 6.
Kulmapoikkeama d



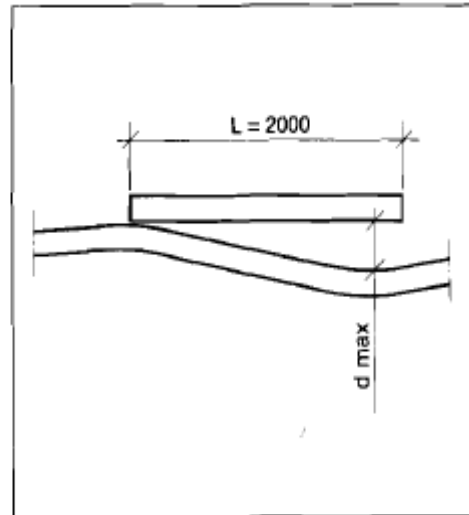
Kuva 7.
Vapaa väli



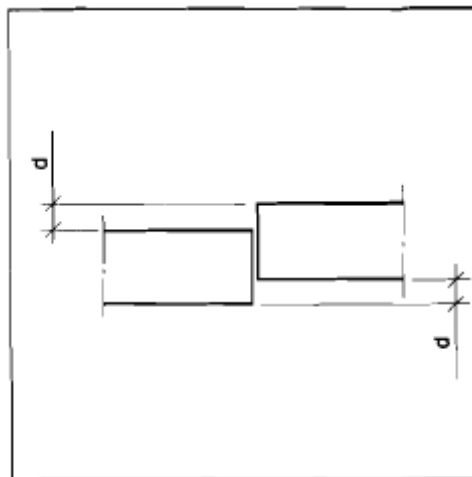
Kuva 8.
Pilariulokkeen kulmapoikkeama d



Kuva 9.
Paikin hammastukset tuella d



Kuva 10.
Laatan yläpinnan poikkeama vaakasuorasta tai nimelliskaltevuudesta d_{max}



Kuva 11.
Laatan hammastus ylä- ja alapinnassa d

Kaikkia edellä kuvattuja virheitä esiintyy yleisesti rakennustyömaalla, varsinkin elementtirakentamisessa. Syynä virheisiin on useimmiten valmistustoleranssit sekä asennustoleranssien ylittyminen. Yksittäinen elementti voi mitoiltaan olla toleranssien rajojen sisäpuolella, mutta kun asennetaan useampi peräkkäin tai päällekkäin, niin johonkin saumaan kertyy virheiden summa.

Seuraavassa on esitetty suositeltavat toleranssien lukuarvot taulukkomuodossa SFS 3874:n mukaan.



STANDARDI

SFS 3874
RT 102.50

Rakennustietosäätiö

1977 toukokuu

1 (1)

COPYRIGHT: SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO JA RAKENNUSTIETOSÄÄTIÖ. OSITTAINENKIN JULKAISEMINEN JA JÄLJENTÄMINEN SALLITTU VAIN SFS:n JA RTS:n LUVALLA

RAKENNUSALAN TOLERANSSIT, suositeltavat lukuarvot

UDK 531.718(083.3):69
SfB A

Tolerances for building, preferred sizes
for tolerances

toleranssi
lukuarvo

1 YLEISTÄ

1.1 Sisältö

Tässä standardissa esitetään rakennusalan toleranssien suositeltavat lukuarvot.

1.2 Käyttöala

Tässä standardissa esitetyt toleranssien lukuarvoja käytetään rakennusten, rakennusosien ja rakennustarvikkeiden valmistus-, paikantamis- ja asennustoleransseina.

1.3 Käsitteitä

Tässä standardissa käytetyt käsitteet ovat standardin SFS 2490 (RT 001.10) 'Mitat ja toleranssit rakennusosalalla, käsitteitä' mukaisia.

2 TOLERANSSIEN LUKUARVOT

Suosittelvat toleranssien lukuarvot on esitetty taulukossa 1.

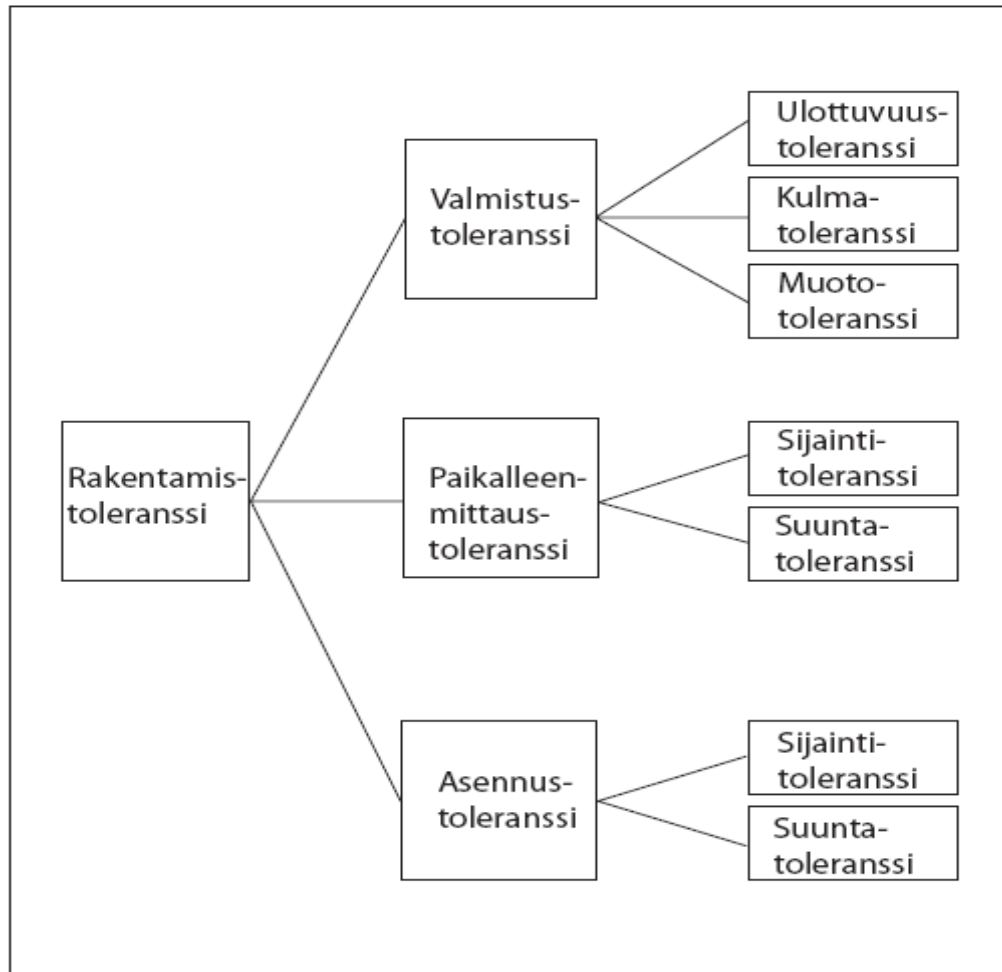
Taulukko 1. Suositeltavat toleranssien lukuarvot

Toleranssi			
0,10	1,0	10	100
0,16	1,6	16	160
0,24	2,4	24	240
0,40	4,0	40	400
0,60	6,0	60	600

Tarvittaessa taulukon arvot kerrotaan tai jaetaan luvulla 10, 100 jne.

Toleranssi ilmoitetaan yleensä symmetrisesti perusmitan suhteen siitä sallittuina poikkeamina: esim. ± 8 , joka vastaa taulukon arvoa 16.

Rakentamistoleranssien muodostumisessa määräävät tekijät ovat valmistus-, kulma-, muoto-, sijainti- ja suuntatoleranssi (kuva 3.10), RT-kortti 02-10050.



Kuva 3.10. Rakentamistoleranssin muodostuminen (Lähde RT- kortisto)

3.7.1 Betonirakenteiden toleranssit

Kaikille betonirakenteille on annettu maksimimittovirheet eli toleranssit. Elementtien valmistuksessa ovat käytössä **valmistustoleranssit**, jotka määrittelevät, kuinka paljon voidaan poiketa nimellimitasta, joka on myös teoreettinen liittymismitta. Seuraava määräävä tekijä elementtirakenteessa on **paikalleenmittaustoleranssi**, joka määrittelee mittauksien tarkkuuden. Kolmas elementtirakenteissa käytettävä toleranssi on **asennustoleranssi**. Näistä muodostuvat rajat, joiden sisällä valmiin rakenteen mittojen on oltava.

Seuraavassa on betonirakenteiden toleranssiarvoja taulukkomuodossa.
Taulukot (3.1-3.3) tiedot RT-kortin 02-10102 mukaisesti.

Taulukko 3.1. **Betoniseiniä rakentamistoleranssit**

mittauksen kohde	Normaaliluokka mm	Erikoisluokka mm
sivusijainti	+/- 15	+/- 10
sivusijainti ylä- tai alapuolisesta seinästä	+/- 10	+/- 5
vapaa väli	+/- 15	+/- 10
sauman leveys Sandwich	+/- 8	+/- 5
sauman leveys väliseinä	+/- 10	—
hammastus, kaikki suunnat	8	5
yläreunan korkeusasema	+/- 10	+/- 5
poikkeama pystysuunnasta	h/ 600	h/ 600

Taulukko 3.2. **Esijännitetyjen ontelolaattojen rakentamistoleranssit**

mittauksen kohde	Normaaliluokka mm
sivusijainti	+/- 20
sauman leveys	+/- 15--5
sauman hammastus alapinnassa	
- tuella	5
- keskellä	8 tai L/1000
korkeusasema tuella	+/- 15
tukipituus	- 25
yläpinnan poikkeama vaakasuorasta tai nimelliskaltevuudesta 2m matkalla	+/- 15

Taulukko 3.3. **Betonipilarien rakentamistoleranssit**

Mitattava suure	suurin sallittu poikkeama mm		
	luokka 1	luokka 2	luokka3
sivusijainti perussuorasta	15	20	30
sivusijainti ylä- tai alapuolisesta pilarista	10	15	20
pilarianturan sivusijainti perussuorasta	15	20	30
vapaa väli	+/-15	+/-20	+/-30
pilarin ja ulokkeen yläreuna korkeusasema	+/-10	+/-15	+/-20
käyryys L= 6000	E, +/-5	F, +/-10	G, +/-15
poikkeama pystysuorasta	E, +/-5	F, +/-10	G, +/-15

Edellä esitetyissä taulukoissa ovat betonirakentamisessa yleisimmin tarvittavat toleranssit, lisäksi RT-kortistosta löytyy toleranssit palkkirakenteisiin, betonista valmistettuihin portaisiin, lattioihin ja muihin erikoisrakenteisiin. Muita mittatietoja löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelman betonirakenteita koskevista määräyksistä.

3.7.2 Puurakenteiden toleranssit

Puurakenteille on myös olemassa erittäin tarkat valmistustoleranssit ja vaatimukset, mutta tässä yhteydessä tuon esiin vain asennukseen liittyvät mittatarkkuusvaatimukset. Puurakenteiden perustukset kuuluvat samojen mittatarkkuusvaatimusten piiriin kuin betonirakenteidenkin. Puun ominaisuuksiin kuuluu erilaisia elämisestä johtuvia ominaisuuksia, joita ei teräs- ja betonirakenteissa ilmene, ja siksi puurakenteilla on myös useampia toleranssiluokituksia. Puurakenteesta ei aina voida sanoa, millaisissa toleranssiarvoissa se asennettaessa on ollut. Ominaisuuksiensa vuoksi puurakenne saattaa kosteuden tai epätasaisen kuivumisen seurauksena muuttaa muotoaan paljonkin. Tämä taas usein aiheuttaa laadunvalvonnan ja tarkastustoimenpiteiden yhteydessä neuvotteluja ja sovittelua.

Puurakenteiden asennustoleransseja

Seuraavissa taulukoissa (3.4) ja (3.5) on esitetty yleisimmin tarvittavia puurakenteiden toleransseja RT-kortti 02-10102 mukaisesti.

Taulukko 3.4. Puurakenteisen seinän suurimmat sallitut poikkeamat.

Ulottuvuus ja sijainti	Suurin sallittu poikkeama		
	Luokka	Luokka 2	Luokka 3
Sivusijainti perussuorasta	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Runkotolppien väli	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Ikkuna- tai oviaukon koko	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Ikkuna- tai oviaukon sijainti	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Vapaa väli (vastakkaiset seinät)	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Seinärungon suoruus	± 1,5 o/oo ¹	± 1,5 o/oo ¹	± 1,5 o/oo ¹
Seinärungon poikkeama pystysuorasta			
– korkeus enintään 3 m	± 5 mm	± 5 mm	± 5 mm
– korkeus yli 3 m	± 8 mm	± 8 mm	± 8 mm

¹ 1,5 o/oo mittauspituudesta, kun mittauspituus on vähintään 2 m.

Ellei asiakirjoissa ole määrätty rakennusosien asennustarkkuusluokkaa, noudatetaan asennustarkkuusluokituksen käyttösuositusta.

Taulukko 3.5 Pilareiden rakentamistoleranssit

Taulukko 18:T2. Pilareiden rakentamistoleranssit.

Ulottuvuudet ja sijainti	Suurin sallittu poikkeama	
	Luokka 1	Luokka 2
Sivusijainti perussuorasta	± 12 mm	± 20 mm
Vapaa väli	± 12 mm	± 20 mm
Pilarin yläpään ja/tai tukipintojen korkeusasema	± 8 mm	± 12 mm
Suoruus	± 1,5 o/oo ¹	± 1,5 o/oo ¹
Poikkeama pystysuorasta		
– korkeus enintään 6 m	± 5 mm	± 8 mm
– korkeus yli 6 m	± 8 mm	± 12 mm

¹ 1,5 o/oo mittauspituudesta, kun mittauspituus on vähintään 2 m.

Selostus

Taulukoissa 18:T2 ja 18:T3 esitettyä luokitusta suositellaan käytettäväksi siten, että luokka 2 on yleisimmin käytetty ja luokka 1 vaativa toleranssiluokka. Erityistapauksissa voidaan asiakirjoissa määrätä liimapuuelementtien rakentamistoleransseiksi 1-luokkaakin kiireämmät toleranssit.

Puurakenteille, kuten kattotuolit, pilarit, runkotolpat ja palkit, lujuusvaatimuksista muodostuu paljon mittoihin ja toleransseihin vaikuttavia tekijöitä. Esimerkiksi jos rungon leveydessä on liian suuri mittavirhe, saattaa kattotuolin voimia vastaanottava osa jäädä liian pieneksi ja tällöin erilaiset murtumat ovat mahdollisia. Taikka sitten kieroutunut puu ei saavuta tarvittavaa lujuutta nurjahdusta vastaan.

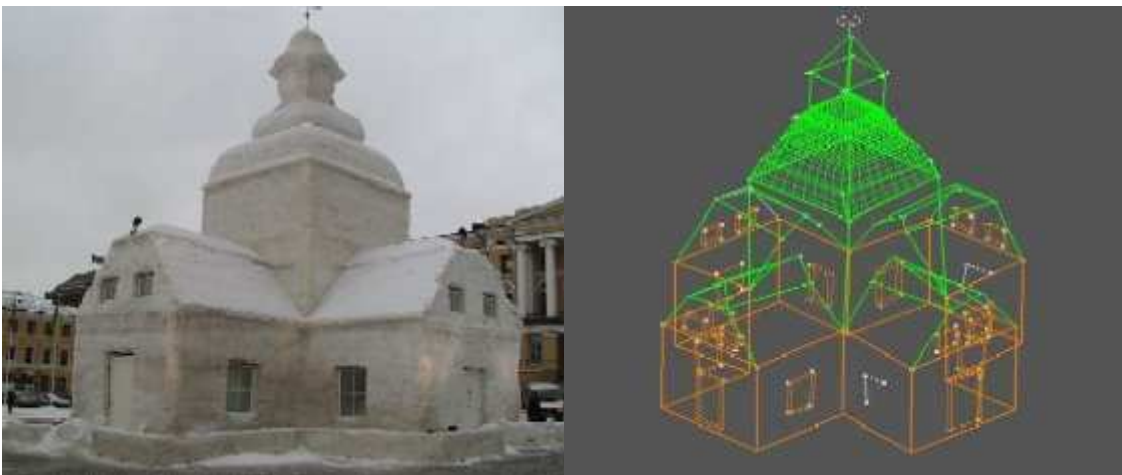
4 MALLINNUSMITTAUS

Mittaus on välttämätöntä rakentamisen kaikissa vaiheissa. Mittaamalla kohteet huolellisesti vältetään turhilta virheiltä ja työn uudelleen tekemiseltä. Käytössä on joko monia mittauslaitteita eri tarkoituksiin, tai sitten vain yksi tai kaksi laitetta jonkin tietyn mittauksen tehokkaaseen ja edulliseen suorittamiseen. Nykyisin halutaan esimerkiksi korjattavasta kohteesta tarkka ja ajantasainen toteutusmalli, josta nähdään rakennuksen todelliset mitat ja muodot. Nämä saattavat myös jossain määrin poiketa alkuperäisestä suunnitelmasta. Jos geometria poikkeaa alkuperäisestä suunnitelmasta huomattavasti, kannattaa kohteesta tehdä 3D-malli, sillä yksittäisten mittojen kerääminen suunnitelman täydentämiseksi on työlästä. Mittaustyötä halutaankin tehostaa tekemällä uusista kohteista mahdollisimman nopeakäyttöisiä sekä vähän kojeen käyttäjiä vaativia. Aluksi esittelen yleisimpiä 3D-mittausmenetelmiä, joista erityisesti laserkeilaus kuuluu uusiin menetelmiin.

4.1 3D-mittaustekniikkoja

4.1.1 Fotogrammetria

Fotogrammetria on kohteiden kolmiulotteista mittaamista kuvien avulla (kuva 4.3). Mittausmenetelmän tarkkuutta voidaan muuttaa mittausetäisyyttä vaihtamalla. Kuvista saadaan havainnollisempia käyttämällä värejä



Kuva 4.1. Kohde mitoitettu kuvasta fotogrammetrian avulla.

Kohteessa tapahtuvia muutoksia tutkitaan kohteen hyvin erottuvien piirteiden, kuten reunaviivojen, nurkkapisteiden tai pinnan tekstuurin avulla. Erottuvien piirteiden puuttuessa tai haluttaessa tarkempia tuloksia voidaan kohteessa käyttää tähysmerkkejä eli signaaleja. Kuvamittauksen menetelmät ovat erityisen edullisia silloin, kun mitattavia yksityiskohtia on runsaasti. Yksi valokuva tallentaa suunta- viuhkan, jossa on periaatteessa suunta jokaiseen kohteen yksityiskohtaan ja tallennusaika on vain sekunnin murto-osa.

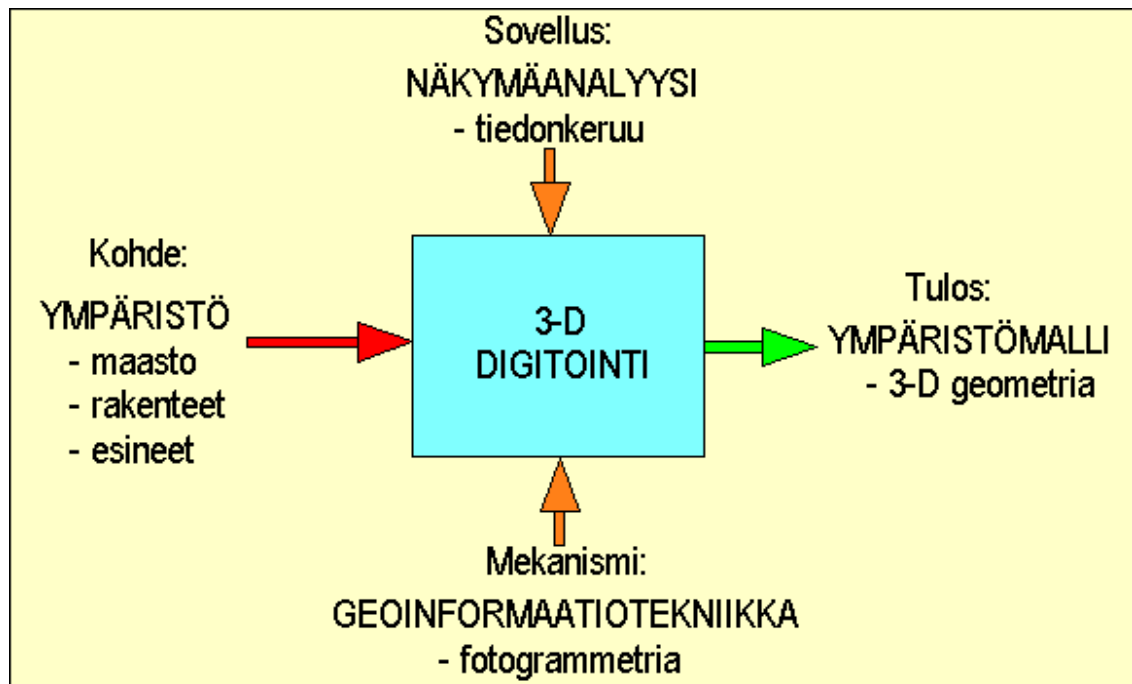
Periaatteessa ei ole eroa, tallennetaanko kuva filmille, videonauhalle tai suoraan digitaaliseen muotoon. Valokuva on kuitenkin toistaiseksi tallennuskapasiteetiltaan ylivoimainen. Teodoliittimittaukseen verrattuna on joitakin periaatteellisia eroja. Teodoliittisuunnat ovat yleensä siten orientoituja, että ns. vaakasuunnat ovat kolmiulotteisten suuntien vaakakomponentteja ja pystykulmat ovat kulmia luotiviivan suhteen. Oleellisempi ero on kuitenkin siinä, että teodoliittimittauksessa kohde luokitellaan ja yksilöidään mittaussvaiheessa. Kuvamittauksissa kohdetta tulkitaan kuvilta. Digitaalisen kuvankäsittelyn keinoin tätä voidaan myös automatisoida.

4.1.2 Videodigitointi

Videodigitointi on mittausmuoto, jolla saadaan kolmiulotteisia tuote- ja tilamalleja suoraan videokuvasta. Digitointi perustuu videokuvien yhteensovittamiseen kohdetilassa. Yhteensovituksella lasketaan kohteen XYZ-koordinaatit ja tuotetaan kohdemallia kolmiulotteisesti esittävä pisteparvi. Kun kohdepisteet piirretään videokuvien toistamin värisävyin, kohdemallin ilmiasu on todellinen. Kohteen ymmärtäminen tilamallina edellyttää pisteparven muuntamista geometrisiksi pinnoiksi ja niiden rajoittamiksi tila-alkioiksi.

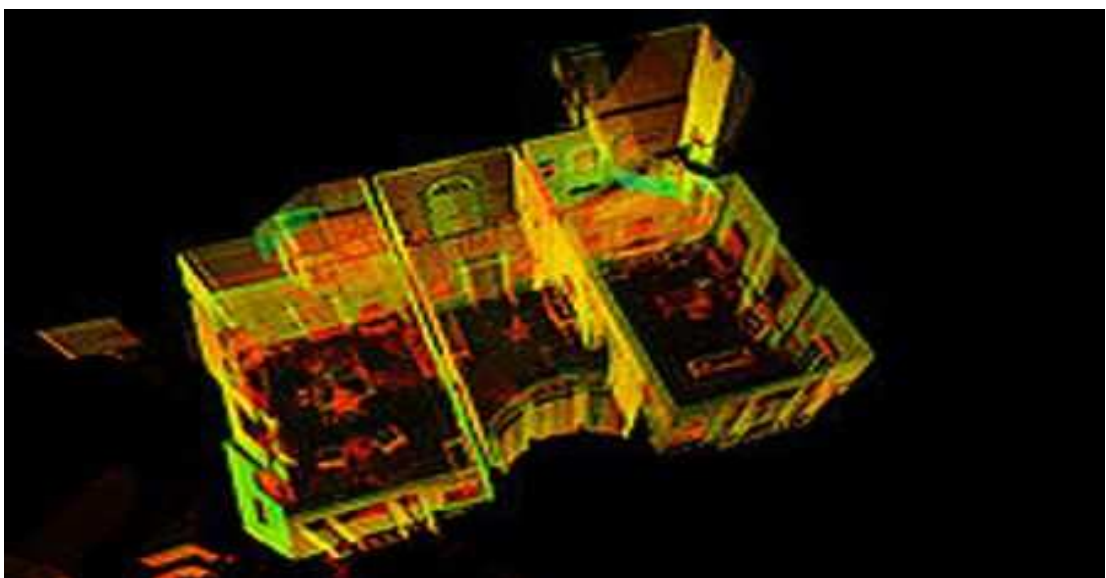
3D-videodigitoinnin etuna pidetään videokuvausta. Videokuvaus on yksi tehokkaimmista kuvahavaintojen keruutekniikoista ja mahdollistaa erilaisten kohteiden digitoinnin aina, kun kuvaaminen on mahdollista.

Seuraavassa kuvassa on esitetty mallinnuksen toimintaperiaate.



Kuva 4.2. Kaaviokuva 3D-digitoinnin periaate

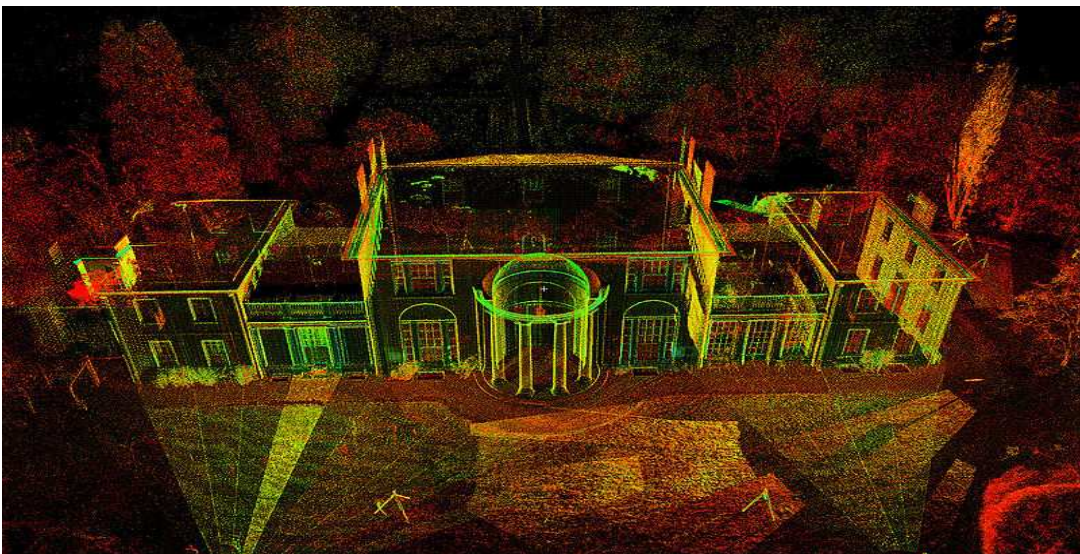
Videokuvaus toteutetaan joko yhdellä tai useammalla kameralla, menetelmänä 3D-videodigitointi on tarkka. Seuraavassa kuvassa on vanha rakennus videodigitoituna.



Kuva 4.3. Vanha rakennus videodigitoituna

4.1.3 Maalaserkeilaus

Laserkeilaimen avulla saadaan luotua mitattavasta kohteesta kolmiulotteinen pistepilvi. Laserkeilain käyttää mittaamiseen näkyvää lasersädettä ja tulokset saadaan joko keilaimen sisäiseen koordinaattijärjestelmään tai johonkin muuhun haluttuun korkeus- ja koordinaattijärjestelmään. Perinteisesti laserkeilausta on käytetty maaston korkeuskartoituksessa lentokoneesta tai helikopterista. Nykyään käyttö on laajentunut nopeasti keilainten hintojen laskiessa. Puhutaan maalaserkeilauksesta, jolloin sitä käytetään yleisesti teollisuuslaitosten korjaussuunnittelussa ja rakennusmittauksissa. Muita sovelluskohteita ovat esimerkiksi puuston kartoitus ja arkeologia sekä tielinjojen, tunneleiden ja siltojen mittaus. Keilaimen toiminta perustuu sen lähettämään lasersäteeseen. Aikaero- eli pulsilaserit mittaavat kohteeseen ja takaisin kulkevan energiapulssin kulkuajan. Etäisyys määritellään aikaeron avulla. Vaihe-erolaser eli jatkuva-aaltainen laser lähettää jatkuvaa lasersädettä. Se mittaa etäisyyden kohteesta lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-eron avulla. Lähietäisyydeltä eli 1 – 5 m:n etäisyydeltä mittaavan laserkeilaimen mittatarkkuus on 0,25 –1 mm. Keskimatkan eli 1 – 70 m:n etäisyydeltä mittaavan keilaimen tarkkuus on 3 – 20 mm. Pitkänmatkan keilain mittaa 1 – 1500 m:n etäisyydeltä 3 – 30 mm:n tarkkuudella. Seuraavassa kuvassa on käytetty useita maalaserkeilaimia vanhan rakennuksen tulostamiseen.



kuva 4.4. Vanha rakennus usean laserkeilaimen tulostamana

4.2 Mallinnusmittauksen käyttö

Rakennuksen julkisivumittauksia tehdään käytännössä varsin erilaisilla mittaus-tavoilla. Mittaustavan valintaan vaikuttaa olennaisesti mittauksen tavoite. Mallin-nuksen tavoitteena on yleensä, joko merkittävän kohteen tallentaminen tai lähtö-tiedon tuottaminen korjausrakentamisen tarpeisiin. Edellisessä tapauksessa mit-tauksen geometriselle tarkkuudelle ei aina aseteta kovin suuria vaatimuksia, sen sijaan yksityiskohtaisuus ja yksityiskohtien oikea tulkinta ovat tärkeitä. Ääritä-pauksissa joudutaan mallintamaan koristekuvioita muotin valmistusta varten, kuten seuraavassa kuvassa.



kuva 4.5. Digitoidussa kuvassa historiallinen kohde ja veistos.

Eräs jaottelu syntyy siitä, mitataanko kukin julkisivu omassa erilliskoordinaatis-tossaan, vai mitataanko ne yhtenäisessä koordinaatistossa. Toisinaan riittää li-likimääräinen mittaus, seinäpinta oletetaan tasoksi. Korjausrakentaminen edel-lyttää useimmiten täsmällistä kolmiulotteista mittauksia. Kuitenkin voidaan esimer-kiksi tasomaisuus määrittää erillisenä mittauksena, muun muassa luotien tai ta-solaserin avulla, jolloin julkisivupiirustuksen laatimisessa voidaan tyytyä likimää-räiseen menetelmään.

Hankittaessa tietoa korjausrakentamisen tarpeisiin on geometrinen tarkkuusvaatimus usein erittäin korkea. Toisinaan tarkkuusvaatimukset ovat 5 mm:n luokkaa. Yksityiskohtaisuus riippuu kohteesta ja sen korjaustavasta. Tyypillinen lähiökerrostalo sisältää mitattavia yksityiskohtia varsin rajoitetusti. Mitattavia kohteita ovat lähinnä elementtien nurkkapisteen, ikkunoiden ja ovien kulmapisteet, parvekkeet ja niin edelleen. Sen sijaan vanhoissa rakennuksissa yksityiskohtia saattaa olla runsaasti.

Korjausrakentamisessa on tärkeää, että kohteen piirustukset ovat ajan tasalla. Yleensä rakennettaessa poiketaan hieman alkuperäisestä suunnitelmasta tai kohteeseen lisätään joitain yksityiskohtia myöhemmässä vaiheessa. Kohteesta tarvitaankin toteutumamalli, johon kaikki muutokset on merkitty. Jos kohde poikkeaa paljon alkuperäisestä suunnitelmasta, eikä suunnitelmaa ole päivitetty, on toteutumamallin tekeminen lähes mahdotonta ilman laserkeilausta tai fotogrammetriaa. Näiden avulla saadaan luotua kolmiulotteinen malli melkein mistä tahansa kohteesta. Ohessa esimerkkinä omakotitalon visuaalinen esitys.



Kuva 4.6. Omakotitalon 3D-malli piirustusten pohjalta.(Hurja Solutions Oy)

5 MITTAUSVÄLINEET JA NIIDEN KALIBROINTI

Korkealaatuinen mittaustekniikka on välttämätön edellytys korkealuokkaiselle teollisuustuotannolle. Kalibrointi on mittauslaitteen tai –järjestelmän oikeellisuuden testausta. Mittaustekniikan taas ei voida ajatella toimivan ilman kalibrointia. Kalibroinnissa saadaan selville systemaattiset virheet ja satunnaisten virheiden aiheuttama hajonnan arvo. Määrittäskalibrointi tehdään laboratoriossa ja tätä seuraavasti seurantakalibrointia kentällä. Kalibroinnilla voidaan säilyttää mittauslaitteiden ja -järjestelmien alkuperäinen tarkkuustaso ja taloudellinen arvo.

Tänä päivänä yhä useampien yritysten toimintoja ohjaa laatujärjestelmä. Laatu- ja järjestelmä dokumentoidaan laatu- ja kirjassa. Yksi tehokkaan laatu- ja järjestelmän tunnusmerkkejä on se että tuotteiden ja palvelujen laadulle on asetettu mitattavissa olevia ja seurattavia tavoitteita. Laadukkaat mittaukset edellyttävät spesifikaatioon kirjattujen asiakasvaatimusten täyttymistä. Edellä olevasta kalibroinnin määritelmästä käy ilmi, että panostamalla kalibrointiin saavutetaan laadun takeina olevat mittaustarkkuus ja luotettavuus. Seuraavassa esittelen yleisimmät rakennusmittauksissa käytettävät mittausvälineet ja joitain tavanomaisia mittausmenetelmiä sekä mittalaitteiden kalibrointia.

5.1 Perinteisiä rakennusmittausvälineitä

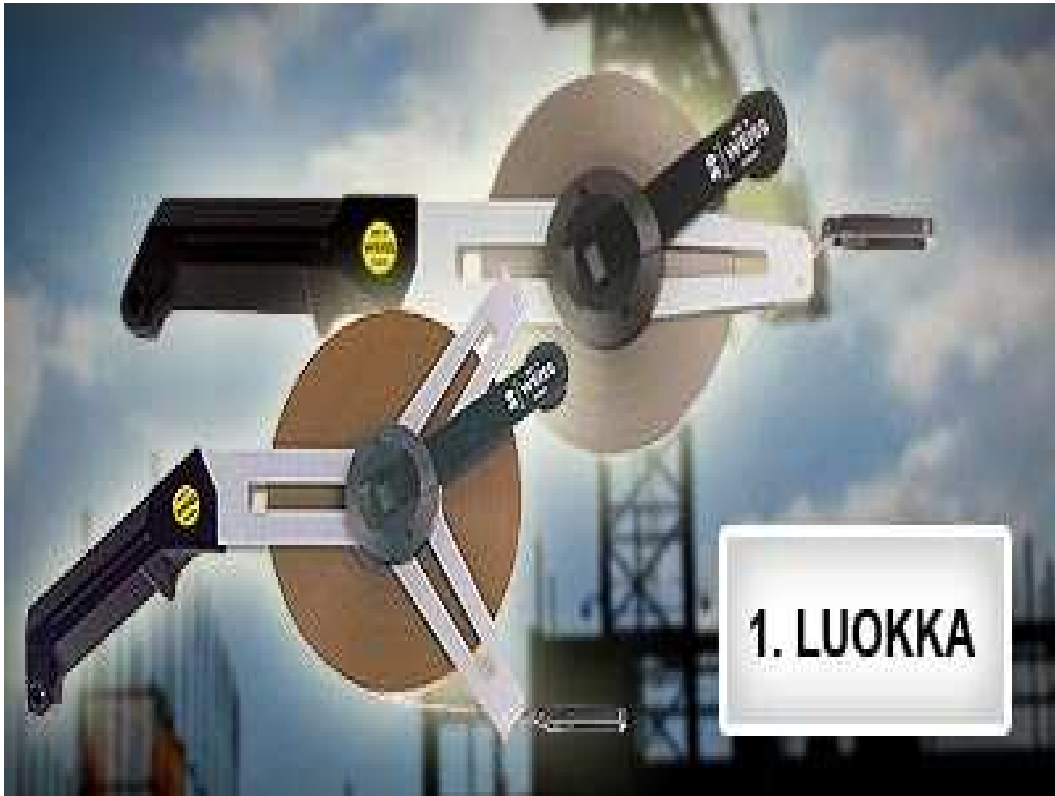
Mittanauha

Perinteinen ja eniten käytetty mittausväline on mittanauha. Työmaamittauksissa mittanauhat ovat yleensä teräksestä valmistettuja. Mittanauhoilla on kansainvälinen tarkkuusluokittelu, jossa kolme luokkaa: 1, 2, ja 3

Mittanauhan pituustoleranssit eri luokissa (pituus L)

1	$\pm(0,1+0,1xL)$ mm
2	$\pm(0,3+0,2xL)$ mm
3	$\pm(0,6+0,4xL)$ mm

Mittanauhat on kalibroitu 20 Celsius asteen lämpötilassa, tietyllä voimalla (esimerkiksi 10 kp) jännittäen. Standardi mittanauhojen kalibrointiin on SFS-ISO 8322-2, jonka mukaisesti mittanauhan kalibrointi suoritetaan neljän pisteen nauhakomparaattorin avulla. Kalibroidun ja vahingoittumattoman mittanauhan virhearvo 50 m:n matkalla on vain 2 – 3 mm. Kuvassa 5.1 laadukkaita rakennusmittaukseen soveltuvia mittanauhoja.

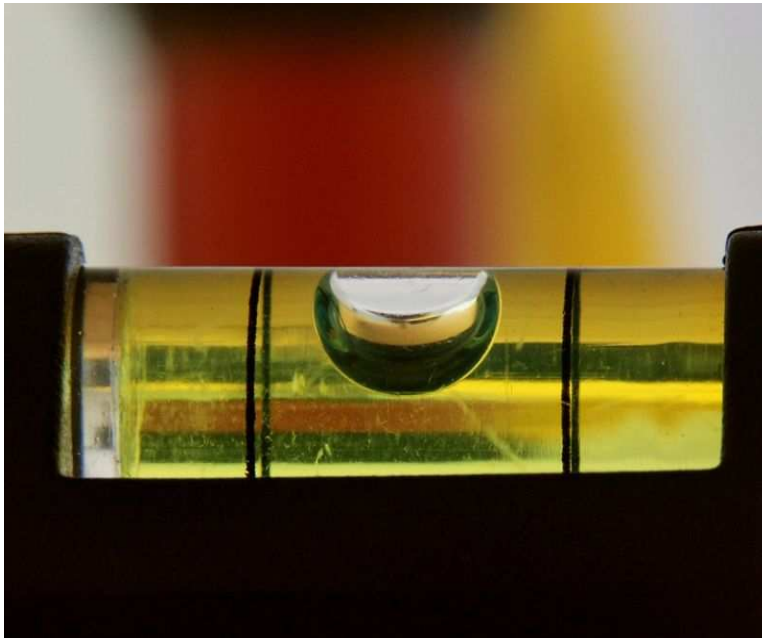


Kuva 5.1. Mittanauha, tarkkuusluokka 1.

Suurimmat mittavirheet tulevat nauhan käytöstä ja tulkinnasta. Lämpötilan muuttuessa, kuten Suomen oloissa usein käy, on huomioitava myös teräksen lämpölaajenemiskerroin $0,00012 \text{ mm/C/mm}$, jonka vaikutuksella on suuri merkitys. Esimerkiksi kahdenkymmenen asteen pakkasessa mittavirhe 50 m:n matkalla on 24 mm, verrattuna kalibrointilämpötilaan. Mittanauhamittauksen heikkous nykyisiin etäisyysmittareihin verrattuna on sen vaatima käyttökokemus ja kahden henkilön tarve mittauksen suorittamisessa.

Vesivaaka

Vesivaaka, eli kansanomaisemmin sanottuna ”vatupassi”, kuuluu mittanauhan ohella vanhimpiin mittalaittekeksintöihin. Vesivaaka on erittäin käyttökelpoinen väline nykyisessäkin rakentamisessa silloin, kun halutaan mitata pienehköjen kappaleiden vaaka- tai pystysuoruutta tai toimitaan pienessä tilassa. Vesivaaka’n toiminta perustuu libellin nesteeseen jätetyn ilmakuplan hakeutumiseen kaarevan putken ylimpään pintaan (kuva 5.2). Vesivaaka on kalibroitu kiinnittämällä libelli sellaiseen asemaan, jolloin runko on vaaka- tai pystysuorassa tai halutun suuruudessa kulmassa. Laitteen toiminnan oikeellisuus voidaan tarkastaa piirtämällä viiva laiterungon mukaisesti pysty- tai vaakasuoraan ja kääntämällä akselinsa ympäri, jolloin laiterungon on oltava viivassa ja ilmakuplan oltava libellissä samassa asemassa kuin lähtötilanteessa. Libellejä on yleensä kaksi tai enemmän. Myös perinteinen vesivaaka on saanut digitaalisen version, johon voidaan asettaa haluttuja kaltevuuskulmia. Digitaalisen laitteen ominaisuuksiin kuuluu myös kalibroinnin säätömahdollisuus. Hyvälaatuiset laitteet ovat oikein käytettyinä erittäin tarkkoja, mittavirhe 0,2 mm/m.



Kuva 5.2. Vesivaaka’an libelli, jossa ilmakupla hakeutuu kaarevan putken ylimpään kohtaan.

Luotinaru

Luotinaru on lanka, jonka päähän on kiinnitetty teräväkärkinen keskitetty paino. Se on vielä nykyäänkin käyttökelpoinen mittaväline. Luotinarun suoruus perustuu maan vetovoiman vaikutukseen ja se on erittäin tarkka referenssi mitattaessa pystysuoria kohteita, elleivät ulkoiset voimat kuten tuuli vaikuta mittaustulokseen. Lasermittalaitteet ovat kuitenkin syrjäyttämässä luotinarun käytön. Useimmiten sitä käytetään edelleen teodoliittien ja muiden mittalaitteiden asentamisessa kiintopisteeseen tai optisen luodin tarkistuksessa.

Vaaituskoje

Vaaituskojetta käytetään korkeusmittaukseen ja mittakorkojen siirtoon. Sillä saavutetaan noin 3 mm:n tarkkuus 30 m:n matkalla. Vaaituskoje on vielä nykyinkin erittäin käyttökelpoinen ja helppokäyttöinen laite pienehköihin rakennuskohteisiin. Myös vaaituskojeen kohdalla on käynyt niin, että laserlaitteet ja kehittyneemmät optiset laitteet ovat syrjäyttämässä sen käytön. Nykyaikaiset vaaituskojeet ovat pääasiassa itsetasaavia. Ne vaativat vain jalustan karkean säädön rasiatasaimella ja tasausjärjestelmä asettaa kojeen vaakatasoon. Kuten kaikki mittalaitteet, niin väärän käytön seurauksena vaaituskojekin menettää erittäin helposti säätönsä. Vaaituskojeen näytön oikeellisuus on helposti todettavissa, kun tasaisella alustalla otetaan korkolukemat kojeen etu- ja takapuolelle ja vaihdetaan kojeen asemaa. Kojeen tulisi näyttää tasaannuttuaan samoja korkolukemia. Ellei näin ole, on kojeen tähtäystaso muuttunut ja vaatii säädön, joskus on teetettävä perusteellinen huolto ja määrittyskalibrointi.



Kuva 5.3. Vaaituskoje sekä latta ja kolmijalka korkeussuuntaiseen mittaukseen.

Teodoliitti

Teodoliitti on kääntyvällä kaukoputkella varustettu kulmanmittauslaite, jolla voidaan tähdätä etäällä olevia kohteita ja mitata niiden välisiä vaaka- ja pystykulmia. Teodoliittia käytetään erityisesti maanmittaus- ja rakennustöissä. Teodoliitti on erittäin vanha keksintö; Leonard Digges julkaisi keksinnön jo vuonna 1571. Rakenteeltaan teodoliitti koostuu kolmesta toisensa leikkaavasta ja keskenään kohtisuorassa olevasta erilaisesta akselistä, joita ovat pysty-, vaaka- sekä tähtäysakseli. Kehiä teodoliitissa on kaksi, vaaka- sekä pystykehä. Varsinaisia kiinteitä osia ovat mittauskaukoputki, alhidadi sekä runko. Näistä ensimmäinen, eli mittauskaukoputki, koostuu useista prismoista, peileistä sekä linseistä. Mittauskaukoputki kääntyy vaak akselin ympäri, kun puolestaan alhidadi kiertyy pysty akselin ympäri, ja näin ollen se myös kuljettaa mukanaan kaukoputkea. Alhidadin osia ovat putkitasain sekä pysty- ja vaakakehien lukemalaitteet. Alhidadi osaltaan laakeroituu runkoon, joka on teodoliitin kiinteä osa ja siihen kiinnittyy alhidadin ohella myös vaakakehä. Rungon kiinnitys hoidetaan pakkokeskisesti ja runko sisältää jalkaruuvilaitteen, jota kutsutaan myös pakkokeskitysalustaksi. Jalkaruuvilaite kiinnitetään jalustaan ja sen ruuvit ovat olemassa teodoliitin tasaamista varten. Likimääräistä tasausta varten sen sijaan käytetään rasiatasainta ja alhidaditasainta käytetään tarkkaa tasausta varten.

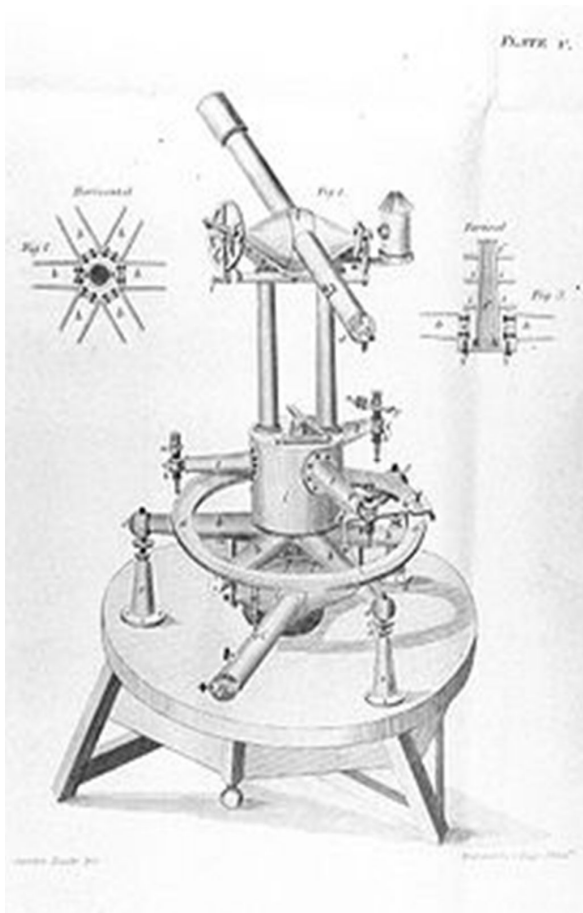
Teodoliitilla tehtävät mittaukset tehdään aina maan painovoimakentässä ja teodoliitin pysty akseli tasataan luotiviivan kanssa. Vaakakulmamittauksissa teodoliitin kaukoputki suunnataan ensimmäiseen pisteeseen, jossa vaakakehältä luetaan tai vaihtoehtoisesti sille asetetaan alkulukema. Seuraavassa pisteessä saadaan suuntalukema. Vaakakulma saadaan laskemalla kahden ensimmäisen kulman erotus. Samalla tavalla jatketaan niin kauan, kunnes kaikki pisteet on käyty läpi. Korkeuskulmia mitattaessa tulee vaakasuoralle tähtäykselle saada lukemaksi 0, pystykehäntasaimella tasaamalla tai automaattitasainta käyttäen. Pystykehälukema saadaan seuraavaksi ja lukemien erotuksen avulla saadaan korkeuskulma vaakatasoon suhteen.

Mittauksiin käytettävät teodoliitit (kuvat 5.4 ja 5.5) voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. Optiset teodoliitit
2. Elektroniset teodoliitit
3. Erikoisteodoliitit

Optiset teodoliitit jaetaan erilaisten käyttöominaisuuksiensa sekä pienimmän lukemayksikön ja tarkkuuden puolesta neljään pääryhmään:

1. Pienoisteodoliitit
2. Minuuttiteodoliitit
3. Sekuntiteodoliitit
4. Tarkkuusteodoliitit.



Kuva 5.4. Ensimmäinen teodoliittimalli



Kuva 5.5. Optinen teodoliitti 1900-luku

5.2 Takymetri

Takymetri on mittauslaite, jolla mitataan säteittäisesti eli polaarisesti kulmien ja matkan avulla pisteiden sijainteja toisiinsa nähden. Laite toimii säteittäisessä koordinaatistossa, mutta erilaisten ohjelmien avulla mittaustiedoista saadaan laskettua pisteille sijainnit suorakulmaisessa koordinaatistossa. Etäisyys- ja kulmanmittaus tapahtuvat nykyään samankeskisesti ja takymetrillä mitataan pisteelle vinoetäisyys sekä vaaka- ja pystykulmat kojeeseen nähden. Näistä mittaustuloksista kojeen ohjelmilla lasketaan vaakaetäisyys mittauspisteen ja kojeen välillä, korkeusero kojeen ja pisteen välillä tai suorakulmaiset koordinaatit. Nykyaikaisessa takymetrissä on elektroninen muisti, johon tallennetaan mittauksissa tarvittavat lähtötiedot. Lähtötietoja voivat olla esimerkiksi kojeen sijoituspaikan määrittämisessä käytettävien liittospisteiden koordinaatit. Liittospisteitä tarvitaan, jotta kojeen oma polaarinen koordinaatisto saadaan liitettyä ympäristön koordinaatistoihin. Tuloksia voidaan käyttää esimerkiksi sähköisten karttojen valmistuksessa. Seuraavassa kuvassa on kahden henkilön suorittamaa maastomittausta, jossa koje on orientoitu kiintopisteisiin.

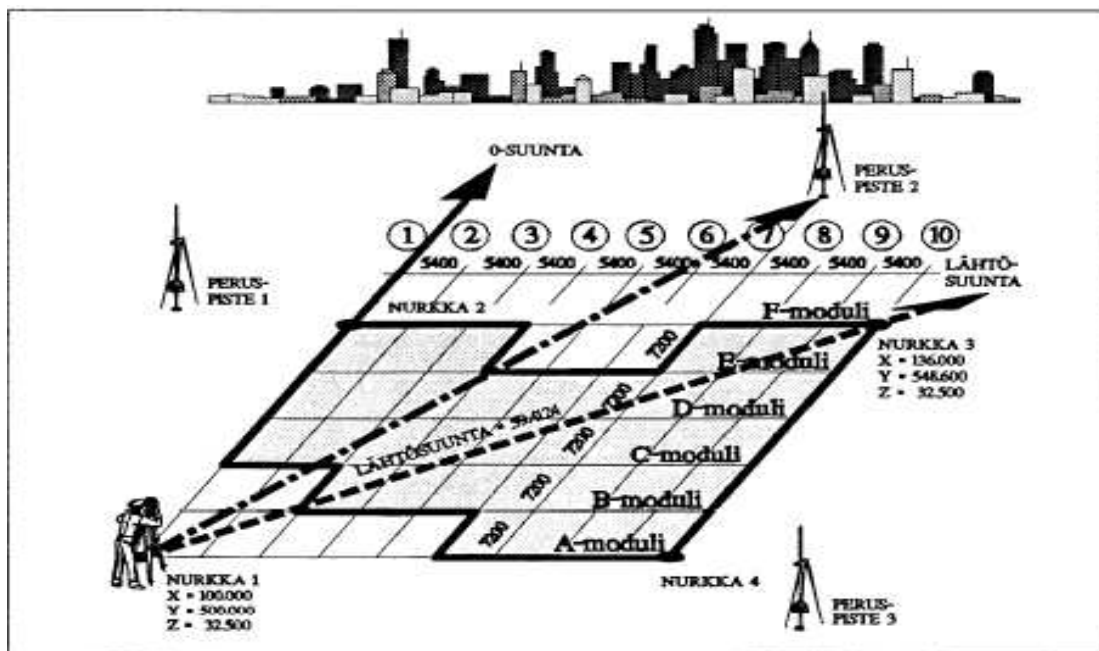


Kuva 5.6. Takymetrimittausta maastossa, jossa piste merkitään prismatähyksen avulla. Mittaajilla on käytössään VHF-puhelinyhteys.

Takymetri on kehittynyt teodoliitista, jota sen perusrakenne kaukoputkineen ja lukemakehineen edelleen vastaa. Ainoastaan kulmia mittaavaan teodoliittiin on lisätty aluksi elektro-optinen etäisyysmittari, joka oli aiemmin kojeen päälle asetettava. Nykyisin mittari on rakennettu kojeen sisään koaksiaalisesti ja takymetrit ovat täys-elektronisia sekä kompaktirakenteisia malleja. Digitaalisella takymetrillä mitattaessa vaaka- ja pystykulmien sekä etäisyyksien arvot siirtyvät suoraan mittalaitteen tallentimen kiintolevylle, ulkoiseen muistiin tai muistikortille, joista saadaan haluttuja tuloksia. Takymetreihin on saatavissa myös robottiohjaus, jolloin mittalaitetta voidaan ohjata kauko-ohjauksella.

Takymetrin orientointi

Takymetrin orientoinnilla tarkoitetaan kojeen sijainnin määrittämistä halutuissa koordinaatistoissa. Tämä on olennaista silloin, kun kojeella halutaan määrittää pisteiden sijainteja eri koordinaatistoissa. Sijainnin määrittäminen tehdään niin sanotuilla liitoshavainnoilla. Nämä ovat kulma- ja etäisyshavainnoita liitospisteille. Liitospisteiden sijainnit käytettävässä koordinaatistossa tunnetaan ennen mittauksia. Takymetrin orientoinnissa käytettävä periaate on kuvattuna seuraavassa piirroksessa.



kuva 5.7. Takymetrin orientointia peruspisteisiin.

Orientointi tapahtuu joko vapaalle tai tunnetulle asemapisteelle. Tunnetulle asemapisteelle orientoitessa koje pystytetään ja tasataan tunnetun kiintopisteen yläpuolelle. Sen jälkeen mitataan vähintään yksi suunta toiselle tunnetulle pisteelle. Näin menetellen tarvitaan vähintään kaksi etäisyyttä tai kolme suuntaa. Tunnetulla tähysmerkillä koje kohdistetaan pisteen päälle luotilangan avulla. Käytössä voi olla lanka-, optinen- tai laserluoti. Kojeen kohdistus on tehtävä erittäin tarkasti, sillä yleisimmät mittapoikkeamat takymetrimittauksessa syntyvät epätarkasta asetuksesta.

Taso- ja putkilaserit

Tasolaserit (kuva 5.8) edustavat yksinkertaisimpia laserlaitteita. Toiminta perustuu lähetettyyn säteeseen, joka näkyy pisteenä tai viivana tai otetaan vastaan laitteen vastaanottimella. Pyörivä tasolaser asennetaan jalustan päälle tai kiinnitetään johonkin rakenteeseen ja laite tasaa automaattisesti itsensä vaakatasoon. Laitteilla voidaan mitata vaaka- tai pystysuuntaisia linjoja. Erittäin käyttökelpoisia laitteita pienemmissä kohteissa, kuten omakotirakentamisessa sekä isompien kohteiden pienemmät osa-alueet. Käyttökelpoisia pienehköissä maanrakennustöissä sekä säädettävällä kallistuksella olevat laitteet kaivantojen tekemiseen ja putkiasennuksiin. Laitteen antaman mittakorkeuden tarkistaminen helppo suorittaa, otetaan laitteella korko etu- ja takapuolelle ja vaihdetaan laitteen asemaa, jolloin mittaustuloksen pitäisi olla sama. Tasolaserin, kuten muidenkin laserlaitteiden säätö ja määrittäminen on hyvä suorittaa valmistajan toimesta.



Kuva 5.8. Itsetasaava, pyörivä tasolaser

Laseretäisyysmittari

Laseretäisyysmittari on laite, jolla mitataan kohteiden etäisyyksiä laservalon avulla. Laseretäisyysmittareita on kehitetty eri tarkoituksiin, kuten rakentamiseen ja maanmittauksiin. Osittain laseretäisyysmittareiden kehitykseen on vaikuttanut se, että myös asejärjestelmissä käytetään lasermittauskalustoa. Mittareiden toiminta perustuu lasersädeimpulssin lähettämiseen kohteeseen ja säteen heijastamiseen takaisin. Pulssin lähettämisen ja heijastuksen välinen aika mitataan, ja kun valon nopeus tunnetaan, saadaan laskettua heijastuksen lähettäneen esineen etäisyys. Toinen tapa on lähettää pitkä pulssi, jonka taajuus muuttuu tasaisesti. Kolmas tapa on kolmiomittaus, jossa pulssin lähetin ja heijastuksen vastaanotin ovat eri paikoissa ja niiden välimatka tunnetaan tarkasti.

Laserkeilain

Laserkeilaimen toiminta perustuu lähetetyn säteen ja sen heijastukseen kulu-
neen ajan mittaamiseen. Pulssi ammutaan kohteeseen pieninä sykäyksinä. Koh-
teesta palaavat säteet muodostavat pistepilven. Kaikilla pisteillä on kolmiulottei-
nen koordinaatti (X, Y, Z), joista muodostuu kuva. Saadusta kuvasta voidaan
tehdä kolmiulotteinen malli, joka voidaan siirtää CAD-järjestelmiin.

Laserkeilaimia on kolmea tyyppiä:

- Millimetrinosien laserkeilaimet, joiden pistetarkkuus on alle 1 mm. ja toiminta-
säde enintään kaksi metriä. Sopivat pienten objektien mittaamiseen ja laadun-
varmistukseen.
- Millimetriluokan laserkeilaimet, joiden pistetarkkuus on alle 10 mm. ja toiminta-
säde enintään 300 m.
- Desi- ja metriluokan laserkeilaimet, joiden pistetarkkuus on alle 200 mm. Käy-
tetään ilmakuvauksissa helikopterissa tai lentokoneessa, kaukokartoitussatel-
liiteissa ja avaruusmittauksissa.

Millimetrinosien laserkeilaimia käytetään lähinnä teollisuuden mallinnusta vaativissa kohteissa. Oheisissa kuvissa on millimetrituokan maalaserkeilaimia.



Kuva 5.9. Maalaserkeilaimet kuuluvat yleensä ns. millimetrituokkaan.

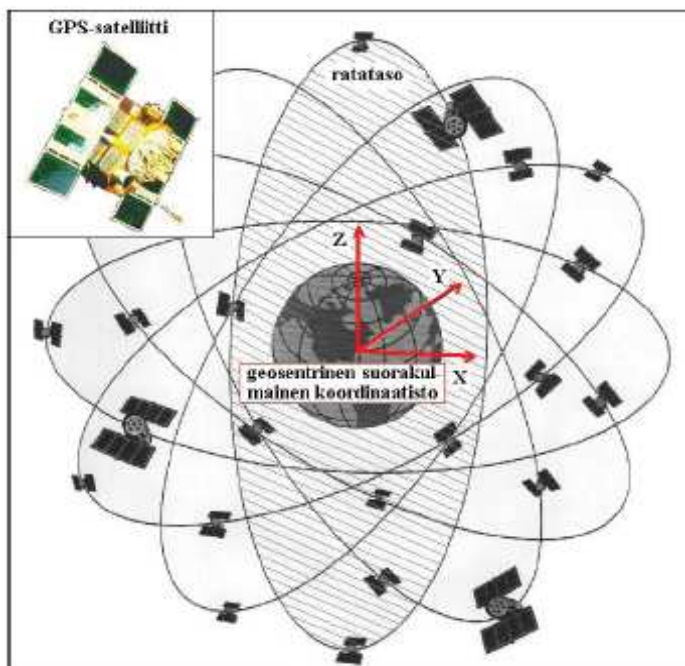
5.4 Satelliittipaikantimet

Satelliittipaikannuksen eli käytössä olevista tunnetuimman, GPS-järjestelmän, avulla palvelun käyttäjä voi määrittää sijaintinsa (kuva 5.10). Satelliittipaikannuksessa havaitaan satelliittien lähettämiä signaaleja ja havaintojen perusteella mitataan etäisyydet vähintään kolmeen, mutta yleensä useampaan satelliittiin.

Satelliittipaikannuksessa voidaan käyttää useita mittaustapoja eli mittausmoodeja. Laitteiden toimintaperiaate perustuu, joko koodin kuluaikapaikannukseen tai vaihe-eromittaukseen perustuvaan paikannukseen.

Koodipaikannuksella (kuva 5.10) arvioidaan päästävän noin kuuden metrin tarkkuuteen. Tämä tarkkuus ei riitä rakennustyöhön eikä tarkempaan kartoitukseenkaan. Navigointiin tarkkuus on riittävä.

Tarkin satelliittipaikannuksen muoto on kantoaallon vaiheeseen perustuva mitaus. Tällä menetelmällä saavutetaan jopa 5 mm:n tasotarkkuus mittaustuloksissa, joten sitä voidaan käyttää rakennustoiminnassa.



Kuva 5.10. GPS-paikannus satelliittien avulla: Maapalloa kiertää 23 satelliittia ja 3 varasatelliittia.

5.5 Työkoneiden ohjaus mittalaitteilla

Rakentamisessa ollaan siirtymässä työkoneiden automaattiseen ohjaukseen. Seuraavassa on lyhyt katsaus yleisimpiin menetelmiin.

Satelliittipaikannus on erinomainen menetelmä autojen, veneiden ja koneiden paikantamisessa. Se toimii parhaimmillaan muutamien senttien tarkkuudella. Kuitenkaan sen tarkkuus ei yksinään riitä rakennustyömaan kaivuutyöhön tai nosturin ohjaukseen.

Takymetriohjaus

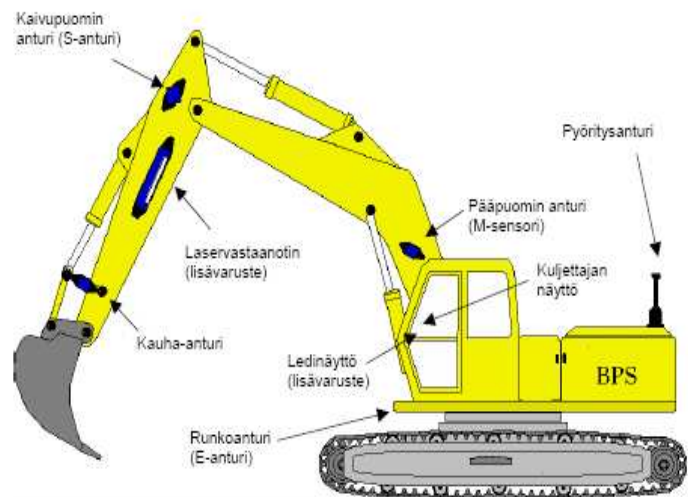
Kauko-ohjattava takymetri voi toimia kaivinkoneen tai nosturin ohjaajana. Tämä perustuu laitteen automaattiseen suuntautumiseen tähysprismaan. Mitä hitaampi liike on, sen tarkempi mittaustulos.

Laserlaitteilla ohjaus

Työkoneiden ohjaus laserlaitteilla perustuu koneessa olevaan vastaanottimeen, joka tulkitsee laserlaitteen lähettämää sädettä. Tätä käytetään lähinnä kaivinkoneissa, yleisemmin koneen kuljettaja toimii vastaanottimen tietojen perusteella, mutta on mahdollista että kone ohjautuu automaattisesti laserlaitteen avulla. Tästä esimerkki seuraavassa kuvassa.



2 BPS-JÄRJESTELMÄN MODULIT



Kuva 5.11. Kaivinkoneen ohjauslaite, jossa viimeisimpänä sovelluksena laitteisiin voidaan syöttää sekä GPS- koordinaatteja, että kaivettavan kaivannon tai alueen sijaintitietoja.

5.6 Mittauslaitteiden kalibrointi

Mittauslaitteiden kalibroinnin merkitystä ei yleisesti tiedosteta. Kaikkien mittauslaitteiden ominaisuudet muuttuvat ajan mukana. Uusi laite on aina kalibroitava, jolloin saadaan tieto sen tarkkuudesta ja systemaattisista virheistä. Yleisesti ottaen laite on sitä kalliimpi, mitä tarkempi se on. Laiminlyömällä säännöllinen kalibrointi laitteen arvo laskee, koska sen tarkkuus on heikentynyt tai ainakin saattanut heikentyä. Uusintakalibrointi palauttaa useimmiten laitteen alkuperäiseen arvoonsa. Mittaaja, joka tekee näennäisen tarkkoja havaintoja kalibroimattomalla laitteistolla, saattaa aiheuttaa huomattavia taloudellisia tappioita. Samalla hän osoittaa ammattitaidottomuutta ja huonoa työmoraalia. Suurimmat vahingot tulevat yleensä välillisesti. Ne ilmenevät esimerkiksi sovitustyön lisääntymisenä tai rakenteiden purkamisena ja uudelleenrakentamisena. Yritysten yhä enemmän käyttöönottamat laatujärjestelmät edellyttävät laitteiden kalibrointia. Puutteena saattaa kuitenkin olla, että kriteerit kalibroinnin tulosten arvioimiseksi voivat olla peräti puutteellisia. Toiminta voi olla näennäisen hyvää: kaikki on olevinaan kunnossa, kun laitteet on kalibroitu. Kalibroinnin tulokset arkistoidaan niitä sen kummemmin arvioimatta. Kalibrointitodistuksessa annetaan kuitenkin vain tieto laitteen ominaisuuksista, siinä ei arvioida laitteen soveltuvuutta tiettyyn tehtävään. (Salmenperä 2004.)

Mittauslaitteiden kalibroinnin yhteydessä puhutaan käsitteistä

määrityskalibrointi, seurantakalibrointi ja järjestelmäkalloibrointi.

Määrityskalibrointi on yleensä laboratoriokalibrointia, jossa määritellään laitteen erillistoimintoja. Teodoliitista (takymetristä) määritetään tyypillisesti akselivirheet ja pystykehän nollapistevirhe. Niin ikään voidaan määrittää vaakakulma- ja pystykulmamittauksen tarkkuus. Etäisyysmittarista määritetään tyypillisesti nollapistevirhe, mittakaavavirhe (taajuusvirhe) ja syklinen (jaksollinen) virhe. Takymetrejä ei yleensä kalibroinnissa säädetä, vaan systemaattiset virheet ja laitteiden mittatarkkuus (hajonta kerrottuna mahdollisesti kattavuuskertoimella) määritetään. Kalibroinnin tulosten niin vaatiessa laite huolletaan, jonka jälkeen se on kalibroitava uudelleen. (Salmenperä 2004.)

Usein käytännön kannalta oleellisia asioita jää varsinaisen määrittäskalibroinnin ulkopuolelle. Näistä käyttäjän tulee itse huolehtia. Esimerkiksi keskityslaitteet ja jalustat on säännöllisesti tarkistettava. Laitetyypistä riippuen tilanne on erilainen, mutta yleensä jokaisessa tasausalustassa on niin sanottu optinen luoti eli kiinteä keskityskaukoputki, jonka toiminta tulee tarkistaa erityistilanteissa tai esimerkiksi luotimalla teodoliitilla kahdesta suunnasta. Vaaituskojeiden ja laserlaitteiden kalibrointiin liittyy yleensä myös säätö. Vaaituskojeessa tähtäyslaitteen vaakasuoruus on tarkistettava koko kompensattorin toiminta-alueella. Myös fokuointi-ettäisyys voi jossain määrin vaikuttaa tähtäyssäteen kaltevuuteen.

(Salmenperä 2004.)

Seurantakalibroinnissa käyttäjä seuraa kalibroidun mittauslaitteen ominaisuuksien muutoksia. Esimerkiksi etäisyysmittarin osalta määrittäskalibroinnin jälkeen mitataan kaksi maastoon pysyvästi merkittyä matkaa (esim. 50 m ja 500 m). Jatkossa nämä samat välit mitataan säännöllisin välein. Jos mittaustulokset pysyvät kyseisen mittauslaitteen mittaustarkkuuden puitteissa muuttumattomina, on kaikki hyvin. Jos taas ilmenee merkittäviä muutoksia, laite on huollettava ja määrittäskalibroitava. Jos lyhyt ja pitkä matka muuttuvat suunnilleen saman verran samaan suuntaan, on ilmeisesti kyseessä nollapistevirhe (vakiovirhe). Jos muutos koskee lähinnä pitkää matkaa, on kyseessä ilmeisesti taajuusvirhe (mittakaavavirhe). Sykliset virheet tosin voivat sotkea tätä olettamusta.

(Salmenperä 2004.)

Järjestelmäkallibroinnissa tarkistetaan mittaustapahtuman kokonaistoiminta, eli henkilöiden, laitteiden, ohjelmistojen ja mittausten menetelmän muodostama kokonaisuus. Varsinainen järjestelmäkallibrointi edellyttää riittävän tarkkaa referenssipisteistöä. Järjestelmäkallibroinnin merkitys korostuu, kun mittaustapahtumaan tulee koko ajan lisää sellaisia osia, joiden toimintaa ei käyttäjän taholta tarkkaan tunneta. Tämä ilmenee sekä laitteissa (erilaiset korjaukset ja muut optiot) että ohjelmistoissa. Myös käyttäjien toiminta on valitettavan puutteellista ja usein esiintyy ammattitaidottomuutta ja välinpitämättömyyttä näissä asioissa.

(Salmenperä 2004.)

Kalibrointimääräykset ja ohjeet

Suomessa ei yleisesti ottaen ole täsmällisiä vaatimuksia kalibroinnista. Kaavoitusmittausohjeissa on joitain suosituksia, mutta esimerkiksi rakennusmittausstandardeissa vain todetaan, että laitteet on ennen käyttöönottoa kalibroitava. Kalibrointi on uusittava riittävän usein. Mitkä ominaisuudet tulee kalibroida ja miten usein kalibrointi on suoritettava, jää käyttäjän vastuulle. Edelleen jää usein epäselväksi mitkä kriteerit kalibroinnissa on täytyttyvä, jotta laite on käyttökelpoinen kyseessä olevaan tehtävään.

Maastomittauksen määrityskalibrointia Suomessa suorittaa monipuolisimmin Teknillisen korkeakoulun Geodesian laboratorio Otaniemessä. Rajoitetummin niitä tekee Tampereen teknillisen yliopiston Geoinformatiikan laboratorio, lisäksi Mittaustekniikan keskus (MIKES) ja Saimaan ammattikorkeakoulun kalibrointipalvelut-yksikkö suorittavat määrityskalibrointeja. Järjestelmäkalibrointia varten on olemassa koekenttiä, mm. Tampereella. Niin ikään lukuisilla paikkakunnilla ympäri Suomea on etäisyysmittareiden testiratoja vapaasti käytettävissä.

Suomalaisiksi standardeiksi englanninkielisinä on hyväksytty SFS-ISO 8322-1..3 ”Rakennustyömaan mittaukset. Rakennustyömaalla käytettävien mittauskojeiden käyttötarkkuuden määrittämisen menetelmiä.” Muut ovat ISO- standardeja, joista vain osa on enää voimassa.

6 MITTAUSTEN DOKUMENTOINTI

Näkemykseni mukaan, mittaustöiden ohjeistus ja dokumentointi ovat puutteellisia. Tämän asian edistämiseksi on opinnäytetyöni mittaustyön laatua kehittävaksi osaksi koottu tietoja siitä, mitä rakennusmittaukseen liittyvien asiakirjojen tulisi sisältää, lisäksi teen ehdotuksia työmaan laatukansioon liitettävistä asiakirjoista.

Mittaustyösopimus

Käytettäessä rakennusmittaukseen ulkopuolista työsuorittajaa, kuten suuremmissa kohteissa on tapana, on tehtävä mittaustyösopimus. Sopimuksesta on löydyttävä seuraavat tiedot:

- Sopimuksen vastuosapuolet, jotka vastaavat myös suoritettavista tarkastusmittauksista.
- Työmaan tunnistetiedot ja käytettävät suunnitelmat ja piirustukset.
- Käytettävä kalusto ja niiden kalibrointitodistukset.
- Tarkastusmittausten kohteet ja -ajankohta.
- Käytettävät toleranssit.
- Mittaustyön ja tarkastusmittausten tulosten dokumentointi, johon kuuluvat työohjekortit ja mittauspöytäkirjat. Malliesimerkit laadittu työn liitteiksi.
- Hylkäysrajan ylittävien tapausten toimenpiteet ja seuraukset.

Toimintaohjeet / työkortti

Mittaustyökohteesta tehdään toimintaohjeet, jossa näkyvät asetettavat vaatimukset ja kriteerit.

- Kohdetiedot.
- Käytettävien piirustusten numerot ja päiväys.
- Vastuuhenkilöt ja työn suorittajat.
- Käytettävät mittalaitteet ja niiden tyyppi.
- Työn suoritusajankohta.
- Laatuvaatimukset, toleranssit määrätty esimerkiksi RT-kortin mukaisiksi.

Liitteenä 1 on esimerkkinä kerrostalon sokkelielementtien paikalleenmittauksen toimintaohje mittaustyöryhmälle.

Mittaustarkastuspöytäkirja

Suoritetuista mittauksista tehdään tarkastusmittauksia työsopimuksen mukainen määrä. Tarkastusmittauksessa mitattavat kohteet määrittelee esimerkiksi tilaajan nimeämä valvoja. Tarkastettavia kohteita olisivat pilari- ja seinälinjat, hissikuilut ja muut vastaavat merkittävät rakennuksen osat.

Tarkastusmittaukseen käytettävän kaluston tulee olla tarkkuudeltaan sellainen, ettei laitteen mittaustoleranssi ylitä 25 prosenttia rakenteen toleranssista. Mittaustulokset kirjataan pöytäkirjaan ja pöytäkirja allekirjoitetaan ja liitetään työmaan laatukansioon. Jos tarkastusmittauksessa rakenteissa ilmenee toleranssien ylityksiä, tehdään selvitys siitä miten asia korjataan. Aina ei korjauksia tehdä, vaan sen sijaan sovitaan esimerkiksi rahallisista korvauksista. Mikäli korjaustoimenpiteitä suoritetaan, toimitetaan niiden jälkeen uusi tarkastusmittaus ja dokumentointi korjausten osalta.

Liitteenä 2 on mittaustyön tarkastuspöytäkirjamalli, esimerkkinä kerrostalo.

Liitteenä 3 on ohjeet työmaan mittausvälineiden seurantakalibrointia varten.

7 YHTEENVETO

Kaikki laatuajattelu lähtee asiakkaan tarpeista ja laatujärjestelmät ovat keino varmistaa tuotteiden ja palveluiden laatu. Rakennusmittaustöiden osalta tutkinta ja pohdinnat kuitenkin näyttävät, että laatuajatteluun on edelleen yllättävän vähän kiinnitetty huomiota. Mittauslaitteistot ja tekniikka ovat kehittyneet huimasti ja kaikille rakenteille löytyy laatuvaatimukset ja toleranssit. Laadunvarmistuksessa kuitenkin luotetaan suomalaiseseen ammattitaitoon ja työmoraaliin, joka toki onkin ainakin rakennusalalla taannut laadun. Asiakkaalle pitäisi kuitenkin jäädä takuut laadunvarmistuksesta ja sen dokumentoinnista. Rakennuttajan valvoja hoitaa työmaalla laadunvalvontaa, mutta käyttäjälle asti ei mittaustöiden tarkastamisesta tai valvonnasta jää minkäänlaista dokumenttia. Opinnäytetyöni tuloksena kehittelemäni erilaisia malliehdotelmia työohjeiksi ja mittaustyön tarkastamiseksi sekä dokumentoinniksi. Tässä tarkoituksessa ne voitaisiin liittää laatukansion osaksi.

KUVAT

- 2.1 m-Mies www-sivut, 20.8.2010
- 2.2 Kaaviokuva rakennusmittauksen vaiheet, V.Ekman, 9.9.2010
- 2.3 Ramboll Finland Oy, 8.10.2010
- 2.4 Muottikolmio Oy, Vuosaaren huoltoterminaali, 9.9.2010
- 2.5 Betoniteollisuus ry, 10.10.2010
- 3.1 Jyväskylän kaupunki, 13.9.2010
- 3.2 Spectra presion laser, 14.9.2010
- 3.3 Helsingin kaupunki, tennispalatsi, 20.9.2010
- 3.4 Rudus Oy paalutustyö, 18.8.2010
- 3.5 Parma Oy, www.parma.fi, 16.9.2010
- 3.6 Parma Oy, www.parma.fi, 16.9.2010
- 3.7 Laurila, H. Mitoitus ja kartoitustekniikan perusteet, 15.10.2010
- 3.8 V. Ekman 12.9.2010
- 3.9 Turun kaupunki, Turkuhalli, 20.8.2010
- 3.10 RT-kortti 02-10050 Rakentamistoleranssien muodostuminen,10.8.2010
- 4.1 www. wikipedia.fi, 9.10.2010
- 4.2 Fotogrammetrian yleiskurssi, 15.10.2010
- 4.3 www.wikipedia.fi, 10.10.2010
- 4.4 www.wikipedia.fi, 5.10.2010
- 4.5 Fotogrammetrian yleiskurssi, 8.9.2010
- 4.6 www.hurja.fi, 12.10.2010
- 5.1 Weiss tuotesivu, mittanauha, 8.9.2010
- 5.2 Vesivaa'an libelli, V.E, 8.9.2010
- 5.3 Topcon tuotesivu, vaaituskoje, 10.9.2010
- 5.4 www.wikipedia.fi, ensimmäinen teodoliittimalli, 20.8.2010
- 5.5 www.wikipedia.fi, optinen teodoliitti, 20.8.2010
- 5.6 Maanmittauslaitos, 9.9.2010
- 5.7 Laurila, H. takymetrin orientointi, 10.9.2010
- 5.8 LL-tuotesivu, tasolaser, 20.8.2010
- 5.9 www.wikipedia.fi, maalaserkeilain, 15.10.2010
- 5.10 Laurila, H. GPS-paikannus, 10.10.2010
- 5.11 Novatron tuotesivut, laserohjauslaite, 9.10.2010.

LÄHTEET

Laasonen, M. 1995. Rakennusten 3D-mallintaminen. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu n:o 32.

Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet 3. painos. Rovaniemen ammattikorkeakolu julkaisusarja D3. Kopijyvä Oy, Jyväskylä.

Martikainen, M. & Santala, J., 1990. Rakennusmittaus. Rakennuskirja Oy, Helsinki.

Rautakorpi, E. & Vänni, M. 1992. Monikerroksisen teräsrunгон mittatarkkuus. Teräsrakenne 4/1992

RT-kortti 02-10996, Rakennusalan toleranssit, toleranssien määritelmät ja suositeltavat lukuarvot.

RT-kortti 02-10102. Betonirakenteiden toleranssit.

Salmenperä, H. 2004. Talonrakennuksen mittaukset, opetusmoniste 2/2004.

Suomen standardisoimisliitto, SFS 3874 Suositeltavat toleranssien lukuarvot.

Jyväskylän kaupunki, www.jyvaskyla.fi (luettu 10.9.2010).

Maanmittauslaitos, www.maanmittauslaitos.fi (luettu 25.8.2010).

M-Mies Oy, www.mmies.fi (luettu 20.8.2010).

Parma Oy, www.parma.fi (luettu 12.9.2010).

Wikipedia, www.wikipedia.fi/laserkeilaus (luettu 3.9.2010).

LIITTEET

Liite 1, Toimintaohje / työkortti, kerrostalon sokkelielementit.

Liite 2, Mittaustyön tarkastuspöytäkirja

Liite 3, Ohjeet työmaan mittausvälineiden seurantakalibrointia varten.

Liite 1. Toimintaohje mittaustyöryhmälle: esimerkkinä sokkelielementtien paikalleenmittaus.

TOIMINTAOHJE	ASIAKIRJA/TEKIJÄ	LISÄTIEDOT
<p>työtehtävä:</p> <p><i>Sokkelielementtien paikalleenmittaus</i></p> <p>Työmaan tunnistetiedot:</p> <p><i>As. Oy Kivipelto</i> <i>Tönötie 5 Läikää tonttinumero 12-4321</i></p>	<p><i>työsopimus</i> <i>sopimus 32/2010</i> <i>07.09.2010</i> <i>laatinut V. Ekman</i></p>	<p>työn suoritus pv.kk.v</p>
<p>Vastuuhenkilöt</p> <p><i>Työmaan vastaava mestari Ville Isohaapana</i> <i>Tilaaajan valvoja Tomi Tarkka</i> <i>Mittausvastaava V. Ekman</i></p>	<p>Mittaustyöryhmä <i>V. Ekman</i> <i>Kari Grand</i></p>	
<p>Käytettävät laitteet ja toleranssit:</p> <p><i>Työ suoritetaan takymetrimittauksena koje Sokkia SET 30R ja vaaituskone Sokkia C410.</i> <i>Noudatettavat toleranssit RT-kortti 02-10102</i></p>	<p><i>työaikaiset</i> <i>tarkistukset</i></p>	
<p>Mittauksen perusteena olevat piirustukset:</p> <p><i>As. Oy Kivipelto – Asemapiirustus A32</i> <i>Perustukset B 12</i> <i>Elementtipiirustukset S1-S42</i></p>	<p><i>tarkista muutos-</i> <i>piirustus tilanne</i></p>	<p>huomiot</p>
<p>Käytettävät kiintopisteet:</p> <p><i>Tontin rajapyykit tarkistettu,</i> <i>käytetään 51,52 ja 53 pisteitä.</i> <i>Korkoasema 91.500 tuotu tontille.</i></p>	<p><i>vertailutarkistus</i></p>	<p>huomiot</p>
<p>Mittauksen merkintä:</p> <p><i>Mitataan ja merkitään sokkelilinjan ulkokulmat ja sisänurkat, sekä elementtisaumat valuanturan päälle.</i> <i>Kulmiin ja nurkkiin teräsnaula asentajia varten.</i> <i>Merkataan hissikuilun sijainti.</i></p>	<p><i>tarkistus</i> <i>sulkumenetelmällä</i></p>	
<p>Huomiot mittaustyössä:</p>		
<p>Mittausvastaava Työn hyväksyjä</p> <p><i>V. Ekman vast.mestari V. Isohaapana</i></p> <p>Päiväys ja allekirjoitukset</p>	<p><i>toimintaohje liitetään</i> <i>mittaustyön</i> <i>tarkastuspöytäkirjaan</i></p>	

Liite 2. Mittaustyön tarkastuspöytäkirja: esimerkkinä ulkoseinät ja piha-alueet.

<p>Työkohteen tunnistetiedot, suoritus ajankohta <i>As. Oy Kivipelto</i> <i>Tönötie 5 Läkää</i> <i>10.10.2010</i></p>	<p>Mittaustyön suorittaja <i>Mittapojat Oy</i></p>
<p>Tarkastuksen suorittajat <i>Valvoja Pekko Pöyhönen</i> <i>Vastaava mestari Tomi Tarkka</i> <i>Mittausvastaava V. Ekman</i></p>	<p>Tarkastuksessa käytettävä mittauskalusto <i>Sokkia SET 30R</i></p>
<p>Käytetyt piirustukset ja kiintopisteet <i>Pohjapiirustus P3</i> <i>Asemapiirustus A32</i></p>	<p>Vaaditut toleranssit <i>RT- kortti 02- 10102 mukaiset</i></p>
<p>Tarkastettavaksi määritellyt kohteet <i>Valvoja Pöyhönen määritellyt seuraavat rakennuksen osat tarkastusmitattavaksi.</i> <i>Rakennuksen ulkokulmat moduulilinjoilla A1, A5, Sijainti 1krs. elementtien alapää ja 5krs. elementtien yläpää.</i> <i>Ruutuelementti RE 45 (kolmas kerros) Kulmien sijainti moduulilinjaan A- nähden. Alapään korkeusasema.</i> <i>Autokatoksen edessä olevien sadevesikajojen kannen korkeusasema. piirustus 93.500 ja 93.320</i></p>	<p>Tarkastusmittauksen tulokset, huomautukset ja lisätoimenpiteet <i>kulma A1, alapää -5 ja +8 yläpää +- ja +5 kulma A5, alapää +10 ja +- yläpää +6 ja +5 alittavat selvästi toleranssirajat</i> <i>Vas.alak. -6. oikea alak. -4 Vas. yläk. +2 oikea yläk. +- piirustuksen mukainen korkeusasema. Elementin kierous ja sijainti toleranssien mukaiset.</i> <i>Kansi 1. 93.480 ja kansi 2. 93.300. Ylimääräinen 20mm:n kaato ei haitaksi.</i> <i>Tarkastusmittaukset eivät aiheuta korjaustoimenpiteitä.</i></p>

<p>Tarkastuksen hyväksyvät, päiväys ja allekirjoitukset</p>	<p>10.10.2010 Pönölä</p>
<p><i>Valvoja Pekko Pöyhönen</i></p>	<p><i>Vastaava mestari Tomi Tarkka</i></p>

Liite 3. Ehdotus seurantakalibrointiin työmaalla:

Yleiset kojeen tarkistamiseen liittyvät ohjeet.

Silmämääräinen tarkastus

Kojeesta todetaan yksilönumero, rungon vauriottomuus, linssien naarmuttomuus, liikkeiden, säätöjen, lukitusten ja asteikkojen toimivuus sekä yleinen kunto. Lisäksi linssit on hyvä puhdistaa.

Rasiatasaimen tarkistus

Kojetta pystytettäessä rasiatasaimen kupla säädetään alustan jalkaruuveilla keskelle. Sitten kojetta käännetään 180 ° ja seurataan pysykö kupla keskellä. Poikkeamasta korjataan puolet rasiatasaimen säätöruuveilla ja puolet jalkaruuveilla. Sama tarkistus tehdään 90 ° edellisestä poikkeavassa kojeen asennossa. Säättämistä jatketaan kunnes rasiatasaimen kupla pysyy keskellä kaikissa asennoissa.

Viivaristikon tarkistus

Ristikon oikea asento tarkistetaan kojetta kääntämällä ja seuraamalla vaakaviivan eroa eri kohdissa kiinteään tähtäyspisteeseen tai vertaamalla pystyviivaa luotilankaan tähtäämällä. Poikkeama korjataan viivaristikkoa säätämällä ohjekirjan mukaisesti.

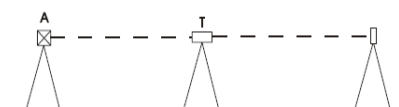
Optinen luodin tarkastus

Tarkastus, jos luotia voi kiertää pystyakselin ympäri, suoritetaan merkitsemällä luotimispiste kojeen alle asetetulle paperille esim. jokaisen jalkaruuvien kohdalta. Jos luoti näyttää joka suunnasta samaan pisteeseen, se on kunnossa. Jos paperille saadaan kolme luotimispistettä, oikea piste on merkittyjen pisteiden muodostaman kolmion keskipisteessä. Jos luotia ei voi kiertää, voidaan tarkastus tehdä esim. luotimalla vertailupiste kahdesta kohtisuorasta suunnassa teodoliitilla tai takymetrillä kojeen alapuolelle alustalle. Taikka jos riippuluoti voidaan kiinnittää kojeen jalustaan, niin vertaamalla sen osoittamaa pistettä optisen luodin näyttämään kohtaan.

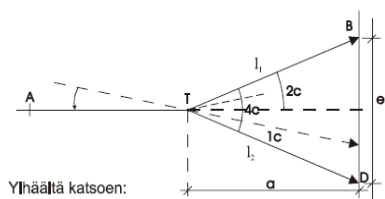
Suurin osa mittauskojeissa ilmenneistä huoltotarpeista vältettäisiin, jos laitteiden ylläpidossa noudatettaisiin säännöllistä kalibrointi- ja huoltorytmiä. Oheisessa taulukossa on esitetty yksi ehdotus geodeettisten laitteiden kalibrointi- ja huoltoväleiksi. Helppo ympäristö tarkoittaa, että kojetta käytetään normaaleissa mittausolosuhteissa. Vaativassa rakennustyömaaympäristössä esiintyy tavallista enemmän kosteutta, pölyä ja tärinää.

Käytökohde	Toimenpide	Vaaituskoje	Takymetri
Helppo ympäristö	Kalibrointi	4 kertaa / vuosi	1 kerta / vuosi
	Ulkoinen puhdistus	tarvittaessa	tarvittaessa
	Täydellinen puhdistus	joka kolmas vuosi	joka viides vuosi
Vaativa ympäristö	Kalibrointi	8 kertaa / vuosi	2 kertaa / vuosi
	Ulkoinen puhdistus	tarvittaessa	tarvittaessa
	Täydellinen puhdistus	joka toinen vuosi	1 kerta / vuosi

Takymetrin kalibrointi (teodoliitti kulmavirheiden osalta)

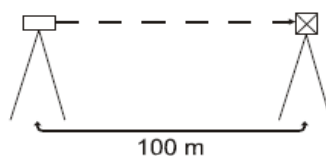


Kuva sivulta:

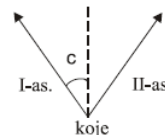


Ylhäältä katsoen:

A= tähys
 B ja D= kohdistusmerkit seinällä
 T= takymetri (tai teodoliitti)
 c= kollimaatiovirhe
 e= kohdistusmerkkien välimatka (2c)



Kollimaatiovirheen vaikutus:

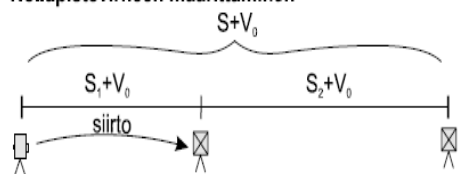


- Ajetaan kojeen testaus- ja/tai tarkistusohjelma määräajoin ja aina ennen uutta työvaihetta.
- Selvitetään sen yhteydessä ovatko kollimaatiovirhe, tappikaltevuusvirhe ja pystykehän indeksivirhe muuttuneet merkittävästi eli vaikuttavatko muutokset vaadittuun mittaustarkkuteen.
- Mitataan työmaan läheisyyteen tarkka pisteväli esimerkiksi kalibroidulla 50 metrin mittanauhalla, merkitään se kiinteästi maastoon (pulteilla / nauloilla), sekä havaitaan kyseinen välimatka säännöllisesti ja aina, kun käytetään erilaisia prismatähyksiä ensimmäisen kerran työmaalla.

Tunnus (suure)	Virhetekijöiden suuruus (odotusarvo)
vk_a = kojevirhe (kulmanmittaus)	+ - 5 mgon
vk_d = kojevirhe (etäisyydenmittaus)	+ - 5 mm
$Vepk$ = prisman epäkeskisyyttä	+ - 1 mm

- Toinen etäisyysmittarin vakiovirheen ja prismavakion määrittämiseen sopiva tapa on mitata mittapisteen väli osissa seuraavan periaatteen mukaisesti:

Nollapistevirheen määrittäminen

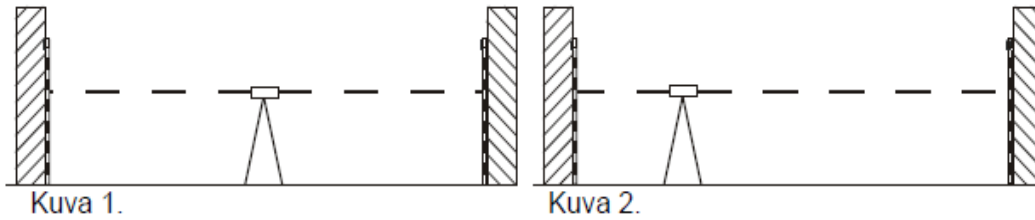


$$S + V_0 = S_1 + V_0 + S_2 + V_0 \rightarrow \text{nollapistevirhe } V_0 = S - S_1 - S_2$$

yleisimmin käytetyissä takymetreissä vakiovirheen suuruus on noin + - 5 mm ja mittakaavavirheen suuruus korkeintaan + - 5 ppm (mm / km)

- Takymetrin mittaustarkkuutta kontrolloidaan myös joka kerta mittauksen alussa seuraamalla orientointivirheiden suuruutta: Koordinaatti- ja etäisyysmittauksen sekä korkeudenmittauksen virheiden tulisi jäädä noin kolmasosaan vaaditusta toleranssista.
- Orientoinnin yhteydessä tarkkaillaan koordinaatti-, etäisyys- ja korkeusmittausvirheitä, joiden tulisi olla alle kolmasosa vaadituista työvaiheen toleransseista (yleensä + - 1 cm).

Vaaituskojeen kalibrointi



Vaaituskoje asetetaan ensin mittapisteiden (mahdollisimman samalla tasolla) puoliväliin ja havaitaan lattalukemat (kuva 1). Sen jälkeen vaaituskoje asetetaan lähelle (noin 1,5 m) toista pystytähtäysasteikkoa (kuva 2), kirjataan lukema ja tähdätään kauempana olevaan lattaan.

Tähtäystason virhe kyseisellä välimatkalla on asteikkojen lukemien erotus. Tähtäystason virhe korjataan ohjekirjan mukaan (esim. ristikköä siirtämällä siten, että se näyttää samaa lukemaa molemmilla latta-asteikoilla). Asennustyömaalla mittaja tekee tilapäisen radan vaaituskojeen tähtäystason virheen tarkistamiseksi.

Vaaituskojeen suurin sallittu tähtäystason virhe määräytyy tehtävän tarkkuusvaatimusten mukaisesti. Esim. työmaavaaituksissa, jos sallittu virhe $\pm 1 \text{ mm} / 10 \text{ m}$, tarkistuksessa ei tarvitse tehdä viivaristikon säätöä, kun virhe on alle $3 \text{ mm} / 30 \text{ m}$ (tarkistuspisteiden väli 30 m).

Tasolaserin kalibrointi

Asetetaan kolmijalka noin 30 metrin päähän seinästä tai muusta tukevasta pystysuorasta pinnasta. Pystysuoraa pintaa käytetään vertailukohtana mitattaessa korkeuseroja. Kolmijalan ylälevyn tulisi olla vaakasuora, niin ettei laitteeseen tarvitse tehdä säätöjä sen pyöriessä akselinsa ympäri. Käsivastaanotinta käyttäen merkitään lasersäteen paikka seinään. Laitetta käännetään 180° ja merkitään taas säteen paikka seinään. Sen jälkeen mitataan merkintöjen välinen etäisyys. Merkkien välinen etäisyys on odotettavissa oleva tarkkuus 60 metrin matkalla tällä akselilla.

Mikäli tarkkuus ei ole riittävä, tasolaseria voidaan säätää. Laserpisteen oikea paikka on kahden mittauspisteen puolivälissä. Kiinnitetään vastaanotin tähän pisteeseen ja säädetään laser. Avaimella kierretään laitteen alapuolella olevaa kalibrointiruuvia ja sivulla olevaa kalibrointiruuvia, jonka akseli on vertailukohteena oleva seinän suuntainen. Kierretään ruuvia, kunnes lasersignaali sattuu tarkasti oikealle kohdalle vastaanottimessa.

Lopuksi tarkistetaan, että säätö tuli suoritettua oikein: asetetaan laser alkuperäiseen asentoonsa ja suoritetaan sitten tarkistus kuten edellä. Kun tarkistus on tehty yhteen suuntaan, on tarpeen suorittaa samat toimenpiteet laitteen toisen akselin kohdalla. Käännetään laitetta 90° kolmijalallaan ja toistetaan n kohdissa edellä mainitut vaiheet tarpeen mukaan. Kerran vuodessa olisi tarpeen suorittaa myös täysi huolto.