

Santeri Rakkolainen

TAKYMETRIN KÄYTTÖ TERÄSASENNUKSISSA

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
2019

TAKYMETRIN KÄYTTÖ TERÄSASENNUKSISSA

Rakkolainen, Santeri

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2019

Sivumäärä: 38

Liitteitä:

Asiasanat: Takymetri, rakennusmittaus

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten takymetria voidaan käyttää teräsasennusten yhteydessä ja miten siitä saadaan tehokas mittaustyökalu asennustyöhön.

Opinnäytetyön tilaajana toimi ruskolainen Mountplan Oy. Opinnäytetyön aiheen antoi Mountplan Oy:n. Opinnäytetyön aikaiset mittaukset suoritettiin Oulussa Kemiran alueella OEBIO työmaalla, jonne rakennettiin uutta lämpövoimalaa ja polttoaineen vastaanotto- ja varastointialuetta.

USE OF TOTAL STATION IN STEEL INSTALLATION

Rakkolainen, Santeri

Satakunta University of Applied Sciences

Construction- and civil engineering

May 2019

Number of pages: 38

Appendices:

Keywords: Total station, construction measuring

Purpose of this thesis was to find out how to use the total station in steel structures assembling and how to get the total station to be an efficient tool for measuring.

The subscriber of this thesis was a company from Rusko, Mountplan Oy. The subject of this thesis was given by the managing director of Mountplan Oy. The measurements for this thesis were made in Oulu at the construction site of OEBIO boiler, where a new boiler building and fuel receiving station were built.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TERÄSRAKENTEIDEN STANDARDIT.....	7
2.1	Johdanto	7
2.2	Toteutuseritelmä ja toteutusluokat.....	8
2.3	Mittaukset	9
2.3.1	Viitejärjestelmä.....	9
2.3.2	Kokoonpanojen ja yksityiskohtien sijainti	9
2.4	Toleranssit.....	10
2.4.1	Olennaiset toleranssit.....	10
2.4.2	Peruspulttien ja muiden tukien toleranssit.....	10
2.4.3	Pilareiden pohjalevyt.....	11
2.4.4	Pilareiden toleranssit	12
2.4.5	Tukipinnat täydellä kosketuspaineella	15
2.4.6	Toiminnalliset toleranssit	15
2.5	Rakennuksen tai rakenteen geometrian tarkastus ja tarkkuus.....	16
2.5.1	Tarkastusjärjestelmät ja tarkkuus	16
2.5.2	Mittausjärjestelmä	17
2.5.3	Kokoonpanojen vertailupisteet.....	17
2.5.4	Mittaustaajuus ja -sijainti	18
2.5.5	Poikkeavuudet ja niiden arviointi.....	18
2.5.6	Poikkeavuuksista johtuvat korjaukset	19
2.6	Mittausapuvälineet.....	19
3	LEICA TS15.....	21
3.1	Nykyaikaiset takymetrit	21
3.2	Laite ja sen osat.....	22
3.3	Kojeen käyttö	24
3.4	Mittaaminen	26
4	MITTAUSMENETELMÄT JA TEKNIIKAT.....	26
4.1	Mittaaminen	26
4.2	Mittausmenetelmät.....	29
5	MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI	30
5.1	Tulosten tulkinta ja esittäminen	30
5.2	Mittausvirheet	30
6	MITTAAMINEN TYÖMAALLA	31
6.1	Esikasausalueen mittaukset.....	31
6.2	Läpivientien merkkäminen.....	33

6.3	Seulomorakennuksen laiterungon suoruuden todentaminen	34
6.4	Kuljetinsillan teräsrakenteiden mittaukset	34
7	POHDINTA.....	37
	LÄHTEET.....	38

1 JOHDANTO

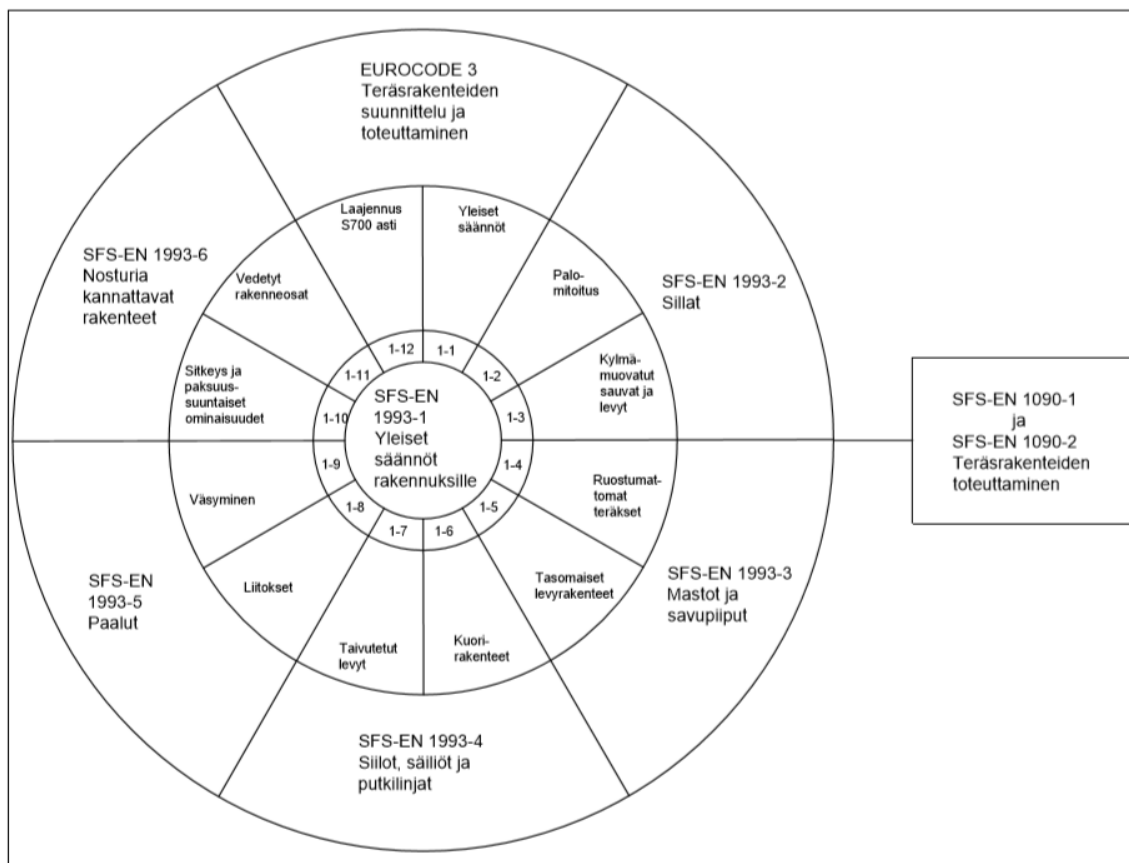
Opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua takymetrin käyttöön erilaisissa tilanteissa asennustyön yhteydessä, ja perehtyä kojeen toimintaan, sekä tutustua standardiin SFS-EN 1090-2, joka määrittää teräsrakenteiden suunnittelun, valmistuksen ja asennuksen aikaiset vaatimukset.

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia, miten takymetria pystytään käyttämään asennustyömaan mittauksissa tehokkaasti ja helposti. Työssä on kerrottu takymetrin toiminnasta ja erilaisista työn aikana hyviksi havaituista mittaustekniikoista.

Työn tuloksena saatiin työmaalla suoritettujen mittausten pohjalta kuva siitä, mihin mittauksiin takymetri on hyvä apuväline ja missä mittauksissa selvittää esimerkiksi tasolaserin, rullamitan ja vatupassin avulla.

2 TERÄSRAKENTEIDEN STANDARDIT

2.1 Johdanto



Kuva 1. Eurocode 3 rakenne yhdessä standardien EN 1090-1 ja EN 1090-2 kanssa. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3-oppikirja, s.9)

Kuvassa 1 on esitetty standardin SFS-EN 1993, eli eurokoodin rakenne, se koostuu yhteensä kuudesta eri pääosasta, jotka käsittelevät, teräsrakenteita, siltoja, mastoja ja piippuja, siiloja, säiliöitä ja putkilinjoja, paaluja, sekä nosturia kannattelevia rakenteita. Jokaiseen teräsrakenteiden mitoitusta koskevaan standardiin liittyy myös oleellisesti standardisarja SFS-EN 1090, sarja käsittelee teräsrakenteiden toteuttamista, ja näin ollen se myös asettaa joitain ehtoja ja vaatimuksia rakenteiden suunnittelulle. (5)

Teräsrakenteita koskee erilaiset standardit, koskien niiden suunnittelua, valmistusta ja asennusta. Standardi SFS EN-1090 kuuluu kantavien rakenteiden suunnittelua ja valmistusta käsittelevien eurooppalaisten standardien ryhmään. Valmistusta ja rakenteellista suunnittelua koskevat säännöt löytyvät EN-eurokoodien soveltuvista osista ja toteutusvaatimusten osalta standardeista EN 1090-2 ja EN 1090-3. EN 1090-2 koskee teräsrakenteita ja EN 1090-3 koskee alumiinirakenteita. Standardin osa kaksi käsittelee myös työmaalla tapahtuvan asennuksen toteutusten vaatimukset, joiden tarkoituksena on varmistaa rakenteiden riittävä stabiilius ja mekaaninen kestävyys sekä käytettävyys ja ominaisuuksien säilyminen. Standardi edellyttää rakennustyön suorituksen aikana riittäviä varusteita, ammattitaitoja ja riittäviä resursseja tämän standardin ja toteutuseritelmän mukaisesti. Kun käytetään standardia EN 1090 rakenteellisten terästä tai alumiinikokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arvioimiseen ja ilmoittamiseen, tulee kaikkien kyseessä olevien ryhmien suunnittelu- ja toteutustandardien olla käytävissä. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.8)

2.2 Toteutuseritelmä ja toteutusluokat

Ennen kuin rakennustyön toteutus käynnistetään, tulee olla sovittuna rakennustyön osaa koskevat tarvittavat tiedot ja toteutusta koskevat vaatimukset, tulee myös olla sovittuna menettelytavat aikaisemmin sovitun toteutuseritelmän muuttamiseksi. Toteutuseritelmästä ilmenee tarpeen mukaan seuraavia asioita: lisätiedot, vaihtoehdot, toteutusluokat, esikäsittelyasteet, toleranssiluokat ja tekniset vaatimukset töiden turvallisuutta koskien. Toteutuseritelmän laatimisesta vastaa suunnittelija.

Toteutusluokka on joukko eriteltyjä vaatimuksia toteutukselle, jotka voivat koskea rakennustyötä kokonaisuudessaan, yksittäistä kokoonpanoa tai pelkkää kokoonpanon yksityiskohtaa. Näin ollen teräskokoonpanossa voi olla eri toteutusluokka, kuin esimerkiksi sen jossain yksityiskohdassa. Toteutusluokan valinta suoritetaan ennen toteutuksen aloittamista.

Standardissa EN 1090-2 esitetään neljä toteutusluokkaa 1-4, jotka esitetään ja merkitään EXC1 – EXC4. Luokkien vaatimustaso kasvaa luokasta EXC1 luokkaan EXC3.

Luokka EXC4 perustuu luokkaan EXC3, mutta siinä on projektikohtaisia lisävaatimuksia. Standardi esittää useita erilaisia vaatimuksia esimerkiksi hitsaukselle, esivalmistukselle ja asentamiselle.

Toteutusluokan valintaan vaikuttaa kolme tekijää, vaadittu luotettavuus, rakenteen, kokoonpanon tai yksityiskohtien tyyppi ja kuormituksen tyyppi, jolle rakenne, kokoonpano tai yksityiskohta on suunniteltu. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.24)

2.3 Mittaukset

2.3.1 Viitejärjestelmä

Teräsrakennetöiden työmaa-aikaisten mittausten tulee liittyä standardin ISO 4463-1 mukaiseen järjestelmään, ellei toisin esitetä. Standardi on muodostettu mittojen maastoon asettamista ja rakennustöiden mittausta varten. Terästöiden ja tukien poikkeamia määritettäessä tulee käyttää vertailujärjestelmänä tihennyspisteistöä, ja siitä tulee olla käytettävissä dokumentoitu mittausselostus. Standardissa ISO 4463 on annettu kriteerit, joiden tulee täytyä, jotta selostuksessa annetut koordinaatit voidaan hyväksyä tarviksi arvioiksi. Mittauksissa ja mittojen maastoon asettamisessa käytettävä vertailulämpötila tulee esittää. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.70)

2.3.2 Kokoonpanojen ja yksityiskohtien sijainti

Asennettujen kokoonpanojen tarkoitetun sijainnin pisteiden pitää olla standardin ISO 4463-1 mukaiset. Pisteet määräävät rakenteen yksityiskohtien sijainnin. Ne voidaan mitat joko pääkoordinaatistosta tai tihennyspisteistöstä. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.70)

2.4 Toleranssit

Toleranssityypit määritellään toiminnallisten ja rakenteellisten kriteerien perusteella merkityksellisiä geometrisiä poikkeamia ja näille kahdelle toleranssityypille esitetään määrälliset arvot. Olennaisiksi toleransseiksi kutsutaan joukkoa poikkeamia, jotka vaikuttavat rakenteen stabiiliuteen ja mekaaniseen kestävyYTEEN sen ollessa valmis. Toiminnallisiksi toleransseiksi kutsutaan poikkeamia, joiden joukkoon kuuluu yhteen so-piminen ja ulkonäkö. Molemmat näistä toleransseista ovat velvoittavia. Poikkeamille, jotka aiheuttavat kimmoisia muodonmuutoksia kokoonpanojen omasta painosta, ei sisällytetä ilmoitettuihin sallittuihin arvoihin.

Näiden lisäksi voidaan määrittää erityistoleransseja, mikäli näin toimitaan, tulee tiedot esittää asianmukaisessa laajuudessa. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.77)

2.4.1 Olennaiset toleranssit

Olennaisten toleranssien sallitut mittapoikkeamat esitetään standardin SFS-EN 1090-2 liitteessä B. Mikäli todettu poikkeama ylittää ilmoitetun sallitun arvon, tulee tapaus käsitellä poikkeavuutena standardin kohdan 12. osoittamalla tavalla. Toleranssin poikkeama on mahdollista joissain tapauksissa osoittaa hyväksyttäväksi uusintalaskelmilla. Olennaisiin toleransseihin kuuluvat myös kokoonpanon osien valmistuksessa käytettyjen menetelmien toleranssit ja asennusten aikaiset toleranssit. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.78)

2.4.2 Peruspulttien ja muiden tukien toleranssit

Peruspultit ja muut tuet sijaitsevat usein rakenteessa alimpina näkyvinä osina, jotka liittyvät itse teräsrakenteeseen. Peruspultit ja muut tuet on ankkuroitu rakenteen perustuksiin, ja niiden päälle rakenne tukeutuu. Koska niihin asennettavat pilarit tai palkit ovat konepajalla esivalmistettuja tulee peruspulttien ja tukien olla suunnitelluilla paikoillaan.

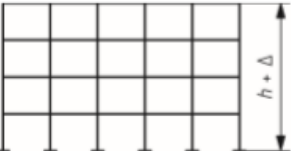
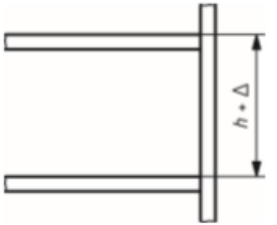
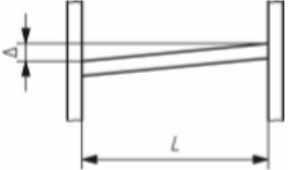
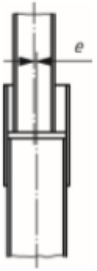
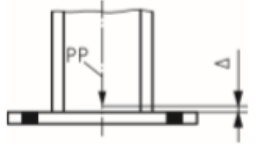
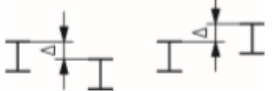
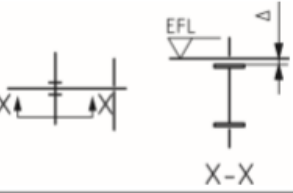
Peruspulttiryhmän tai muun tuen toteutunut keskipiste ei saa poiketa yli $\pm 6\text{mm}$ esitetystä teoreettisesta asemasta keskipisteeseensä nähden. Säädetävien peruspulttien tilanteessa arviointia tarkastellaan parhaimman sovituksen suhteen. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.79)

2.4.3 Pilareiden pohjalevyt




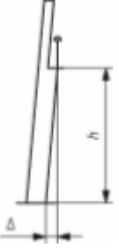

Pilareiden pohjassa on usein reiälliset kiinnityslevyt, joilla ne kiinnitetään, joko peruspulttiryhmiin tai muihin mahdollisiin jatkoskohtiin teräsrakenteessa. Pohja- ja muiden kiinnityslevyjen reiät tulee mitoittaa siten, että liikkumisvarat tulevat vastaamaan teräsrakenteiden sallittuja poikkeamia. Mikäli pohja- tai kiinnityslevyissä käytetään ylisuuria reikiä, voidaan joutua käyttämään suuria aluslevyjä levyjen kiinnitykseen ja paikallaan pysymisen varmistamiseksi. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.79)

2.4.4 Pilareiden toleranssit


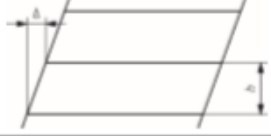

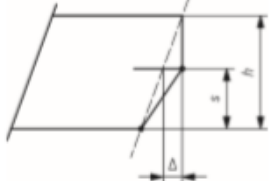
Asennettujen pilarien sallitut mittapoikkeamat selviävät taulukoista 1, 2 ja 3.

Nro	Poikkeaman tyyppi	Mittauskohde	Toiminnalliset toleranssit ^a	
			Luokka 1	Luokka 2
1	Korkeus: 	Kokonaiskorkeus perustustason suhteen: $h \leq 20 \text{ m}$ $20 \text{ m} < h < 100 \text{ m}$ $h \geq 100 \text{ m}$	$\Delta = \pm 20 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,5 (h+20) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,2 (h+200) \text{ mm}$ [h metreissä]	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,25 (h+20) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,1 (h+200) \text{ mm}$ [h metreissä]
2	Kerroskorkeus: 	Viereisten tasojen välinen korkeus:	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
3	Kaltevuus: 	Korkeus palkin toisen pään suhteen:	$\Delta = \pm L / 500$ mutta $ \Delta \leq 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm L / 1000$ mutta $ \Delta \leq 5 \text{ mm}$
4	Pilarin jatkos 	Ei-tarkoitettu epäkeski- syys e jommalla kummalla akselilla:	5 mm	3 mm
5	Pilarin pohjalevy: 	Pilarin rungon alapään korkeusasema sen sijainti- pisteelle (PP) annetun korkeusaseman suhteen:	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
6	Suhteelliset korkeusasemat: 	Viereisten palkkien korkeusasemat vastaavista päistä mitattuna:	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
7	Kiinnitysten korkeusasemat: 	Palkin korkeusasema palkin ja pilarin kiinnitys- kohdassa teoreettisen lattiatason (established floor level (EFL)) suhteen mitattuna:	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
^a Olennaista toleranssia ei esitetä				

Taulukko 1 (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.121)

Nro	Poikkeaman tyyppi	Mittauskohde	Olennaiset toleranssit Sallittu poikkeama Δ	Toiminnalliset toleranssit Sallittu poikkeama Δ	
			Luokka 1 ja 2	Luokka 1	Luokka 2
1	Yksikerroksisten rakennusten pilareiden vinous: 	Kokonaisvinous kerroskorkeuden h matkalla:	$\Delta = \pm h/300$	$\Delta = \pm h/300$	$\Delta = \pm h/500$
2	Portaalikehien pilarin vinous yksikerroksisessa rakennuksessa 	Yksittäisen pilarin vinous Δ : $\Delta = \Delta_1$ tai Δ_2	Ei vaatimuksia	$\Delta = \pm h/150$	$\Delta = \pm h/300$
3	Portaalikehien vinous yksikerroksisessa rakennuksessa: 	Saman kehän kaikkien pilareiden keskimääräinen vinous: [Kahdelle pilarille keskiarvo on: $\Delta = (\Delta_1 + \Delta_2)/2$]	$\Delta = \pm h/500$	$\Delta = \pm h/500$	$\Delta = \pm h/500$
4	Nosturiratapalkkia tukevan pilarin vinous: 	Lattiatason ja nosturiratapalkin tukipinnan välinen vinous:	$\Delta = \pm h/1000$	$\Delta = \pm 25 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 15 \text{ mm}$
5	Yksikerroksisen pilarin suoruus: 	Pilarin sijainti pohjan ja huipun sijaintipisteitä yhdistävän suoran linjan suhteen:	$\Delta = \pm h/1000$	Ei vaatimuksia	Ei vaatimuksia

Taulukko 2 (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.124)

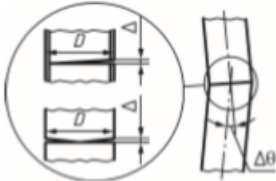
Nro	Poikkeaman tyyppi	Mittauskohde	Olennaiset toleranssit Sallittu poikkeama Δ	Toiminnalliset toleranssit Sallittu poikkeama Δ	
			Luokka 1 ja 2	Luokka 1	Luokka 2
1	Pilarin sijainti tasolla n pohjatasonsa suhteen: 	Pilarin sijainti pohjatasolla olevan keskiönsä kautta kulkevan kohtisuoran linjan suhteen:			
2	Pilarin vinous viereisten kerrostasojen välillä: 	Pilarin sijainti sen keskiön kautta viereisessä alemmassa kerroksessa kulkevan kohtisuoran linjan suhteen:	$\Delta = \pm h / 300$	$\Delta = \pm h / 300$	$\Delta = \pm h / 500$
3	Jatkuvan pilarin suoruus viereisten kerrostasojen välillä: 	Pilarin sijainti viereisissä kerrostasoissa olevien sijaintipisteiden kautta kulkevan suoran linjan suhteen:	$\Delta = \pm h / 1000$	$\Delta = \pm h / 1000$	$\Delta = \pm h / 1000$
4	Jatketun pilarin suoruus viereisten kerrostasojen välillä: 	Pilarin sijainti jatkoskohdassa viereisissä kerrostasoissa olevien sijaintipisteiden kautta kulkevan suoran linjan suhteen:	$\Delta = \pm s / 1000$ kun $s \leq h / 2$	$\Delta = \pm s / 1000$ kun $s \leq h / 2$	$\Delta = \pm s / 1000$ kun $s \leq h / 2$
HUOM. Taulukko B.18 "Monikerrokset rakennukset" koskee pilareita, jotka jatkuvat useamman kuin yhden kerroksen läpi. Taulukko B.17 koskee yhden kerroksen pilareita monikerroksisissa rakennuksissa.					

Taulukko 3 (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.125)

Samanlaisia pystykuormia kantavien viereisten pilarien ryhmille käytetään seuraavantalaisia sallittuja poikkeamia. Taulukossa 1 esitetään sallitut poikkeamat minkä tahansa kuuden toisiinsa liitetyn viereisen pilarin tasossa mitatun vinopoikkeaman keskiarvo. Ryhmän yksittäisen pilarin vinoutta voidaan väljentää arvoon $\Delta = \pm h/100$ päällekkäisten kerrosten välillä. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.79)

2.4.5 Tukipinnat täydellä kosketuspaineella

Asennettujen kokoonpanojen välisten pintojen sovitusten tulee olla niissä kohdissa, joissa edellytetään täyttä kosketuspainetta taulukon 4 mukainen, kohdistamisen jälkeen.

Nro	Poikkeaman tyyppi	Mittauskohde	Olennaiset toleranssit Sallittu poikkeama Δ	Toiminnalliset toleranssit Sallittu poikkeama Δ
			Luokka 1 ja 2	Luokka 1 ja 2
1	Paikallinen kulmapoikkeama $\Delta\theta$, kun kohdassa "X" on samalla kertaa rako Δ :		$\Delta\theta = \pm 1/500$ ja $\Delta = 0,5 \text{ mm}$ vähintään kahdella kolmasosalla kosketuspinnasta, ja $\Delta = 1,0 \text{ mm}$ suurin arvo paikallisesti	Ei vaatimuksia

Taulukko 4 (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.125)

Ellei toteutuseritelmä toisin määrää, ruuviliitoksena tehdyt jatkot voidaan toteuttaa käyttäen jatkoksissa täytelevyjä raon pienentämiseksi, jos rako on sallittua leveyttä suurempi alustavan kiinnityksen jälkeen. Täytelevyt valmistetaan standardin EN 10025-2 mukaisista materiaaleista, ja niiden paksuus ei saa olla enempää kuin 3mm. Liitoksissa ei saa missään tapauksissa käyttää useampaa kuin kolmea levyä ja levyjen tulee vastata lujuus- ja korroosio ominaisuuksiltaan viereisiä materiaaleja. Tarpeen vaatiessa voidaan täytelevyt hitsata pysymään sijassaan joko osittaisilla pienahitseillä tai osittain läpihitsatuilla päittäishitseillä, jotka ulottuvat levyjen yli. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.79)

2.4.6 Toiminnalliset toleranssit

Hyväksyttävinä geometrisinä poikkeamina käytettävänä toiminnallisina toleransseina noudatetaan joko standardin kohdan 11.3.2 mukaisia taulukkoarvoja tai kohdan 11.3.3 esitettyjä vaihtoehtoisia kriteerejä. Mikäli käytettävissä olevaa vaihtoehtoa ei ole, käytetään taulukkoarvoja.

Toiminnallisten toleranssien arvot on esitetty standardin liitteessä B, jossa arvot annetaan yleensä kahdelle luokalle. Toteutuseritelmässä määritetään mitä luokkaa käytetään, jos tätä ei kuitenkaan ole esitetty, käytetään luokkaa 1. Näissä tapauksissa toteutuseritelmässä tulee kuitenkin esittää yksittäisten kokoonpanojen tai asennettujen rakenteen tiettyjä osia koskevat toleranssiluokat.

Vaihtoehtoisia kriteerejä voidaan käyttää, mikäli niin esitetään. Hitsatulle ja ei-hitsatuille rakenteille tulee käyttää standardin EN ISO 13920 mukaisia luokkia. Luokka C on pituudelle ja kulmasuureille. Luokka G on suoruudelle, yhdensuuntaisuudelle ja tasomaisuudelle. Standardin EN ISO 13920 soveltamisalaan kuulumattomille tapauksille mitalle d sallitaan poikkeama $\pm\Delta$, $d/500$ tai 5mm, näistä valitaan suurempi arvo. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.80)

2.5 Rakennuksen tai rakenteen geometrian tarkastus ja tarkkuus

2.5.1 Tarkastusjärjestelmät ja tarkkuus

Valmiin rakenteen tai rakennuksen tulee aina olla suunnitelmien mukainen ja suunnitellulla paikallaan, jotta voidaan varmistua sen toimivuudesta, jonka vuoksi niille tulee aina suorittaa tarkastus. Tarkastus tulee aina suorittaa tihennyspisteistön suhteen. Tutkimus tulee tallentaa toteutusluokissa EXC3 ja EXC4. Erityisiä yksityiskohtia mitauksista ei tarvitse tallentaa, ellei toisin esitetä.

Valitulla menetelmällä tulee olla saavutettavissa tarkastusmenetelmän tarkkuus sen hyväksymiskriteereihin nähden. Myös 3D-mittausmenetelmiä voidaan käyttää.

Standardeissa ISO 7976-1 ja ISO 7976-2 on esitetty erilaisia menetelmiä ja välineitä, joita tulee käyttää tarkastusta suoritettaessa.

Lämpötilavaikutukset tulee tarvittaessa korjata tarkastusten tuloksia tarkasteltaessa ja mittauksen tarkkuuden tulee olla suhteessa standardin EN 1090-2 kohdan 2.4.1 mukaisiin arvoihin.

Standardin ISO 17123 kyseeseen tulevien osien mukaan voidaan arvioida tulosten korjaamista. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.91)

2.5.2 Mittausjärjestelmä

Sallitut poikkeamat tulee mitata pohjatasolla olevista sijaintipisteistä, pystysuoriksi oletetuista pilareista ja niiden muodostamista verhopinnoista ja sarjaan välikerrosten ja katon tasoista, jotka kuvaavat toteutuneita lattiatasoja. On huomioitava, että sijaintipisteet osoittavat yksittäisten kokoonpanojen, kuten pilarien sijainnin.

Kuvissa ja taulukoissa esitetään arvot, joiden mukaisia jokaisten saatujen arvojen tulee olla. Rakeenteelle on määritetty sallittu poikkeama, jota yksittäisten arvojen summa ei saa missään tilanteessa ylittää.

Mittausjärjestelmän tulee pitää sisällään kiinnitysten sijainteja koskevat vaatimukset, sallitut poikkeamat määräytyvät valmistustoleranssien mukaan.

Sekundääriset rakenneosat kuten sivutuet ja orret eivät kuulu järjestelmän asettamiin vaatimuksiin yksikäsitteisesti.

Rakenteen liittyessä olemassa olevaan rakenteeseen, on linjojen ja tasojen muodostamiseen syytä kiinnittää erityistä huomiota.

(SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.91)

2.5.3 Kokoonpanojen vertailupisteet

Kokoonpanojen asennustoleranssit tulee esittää yleensä seuraavien kohtien suhteen. Kokoonpanot, joiden kaltevuus poikkeaa enintään 10° pystysuoruudesta: kokoonpanon keskiö sijaitsee sen molemmissa päissä. Kokoonpanot, joiden kaltevuus poikkeaa enintään 45° vaakasuoruudesta: yläpinnan keskiö sijaitsee sen molemmissa päissä. Kattoristikoiden ja ristikkokannattimien rakenneosat: rakenneosan keskiö sijaitsee

molemmissa päissä. Muut kokoonpanot: asennuspiirustuksissa esitetään vertailupisteet, joiksi yleensä valitaan rakenteille ylä- tai ulkopinnat, jos ne ovat pääasiassa taivutettuja ja jos ne ovat pääasiassa puristettuja tai vedettyjä rakenteita niille valitaan rakenneosien keskilinjat. Vaihtoehtoisia vertailupisteitä voidaan valita vertaamisen helpottamiseksi edellyttäen, että niiden vaikutus pysyy samana, kuin edellä määriteltyillä vertailupisteillä. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.91)

2.5.4 Mittaustaajuus ja -sijainti

Tarkastus – ja testaussuunnitelmassa tulee esittää mittauspaikat ja mittauksien taajuus. Sijaintimittauksia suoritetaan vain työmaan nurkkapisteisiin liittyville kokoonpanoille, ellei toisin esitetä. Myös tarvittavat erityistoleransseihin liittyvät asennettujen rakenteiden kriittiset mittatarkastukset tulee ottaa huomioon ja ne sisällytetään tarkastus- ja testaussuunnitelmaan.

Ellei toisin esitetä, asennettujen rakenteiden sijainnin tarkkuus tulee mitata vain rakenteen oman painon vaikuttaessa. Tulee myös esittää millä tavoin mittaukset suoritetaan, kun otetaan huomioon myös hyötykuormien aiheuttamat poikkeamat ja siirtymät, mikäli ne voivat vaikuttaa mittatarkastuksiin.

(SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.92)

2.5.5 Poikkeavuudet ja niiden arviointi

Poikkeavuuksien arviointia suoritettaessa tulee ottaa huomioon standardin EN 1090-2 kohdassa 12.7.3.1 mukaan laskettu mittausmenetelmien virhe. Esimerkiksi mittaushetken vertailulämpötila. Standardissa ISO 3443-1 osissa 1-3 on esitetty ohjeita rakennusten toleransseista ja poikkeamista, ja niiden vaikutuksista kokoonpanojen yhteensovitukseen. Kokoonpanojen odotettavissa olevat taipumat, esiasetukset, kimmoiset liikkeet, esikorotukset ja lämpölaajeneminen tulee ottaa huomioon rakenteen tarkkuu-

den arvioinnin yhteydessä. Mikäli mittatarkkuuksiin on odotettavissa vaikuttavia tekijöitä, jotka johtuvat esimerkiksi rakenteen merkittävistä liikkeistä, tulee niistä esittää sallittavien sijaintien verhokäyrä. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.92)

2.5.6 Poikkeavuuksista johtuvat korjaukset

Aika ajoin rakenteen tai sen osan tarkastuksen yhteydessä voidaan havaita sallittujen arvojen ylittäviä poikkeamia, jolloin voidaan joutua tekemään rakenteeseen tai sen osaan muutoksia. Standardin EN 1090-2 kohdassa 12.3 on kerrottu toimenpiteet, joihin tulee ryhtyä, mikäli vaatimukset eivät täyty. Kyseisiin toimenpiteisiin ryhdyttäessä tulee aina noudattaa standardin EN 1090-2 mukaisia tapoja. Mikäli teräsrakenne luovutetaan ennen kuin poikkeavuudet on korjattu, tulee korjaamista vaativista asioista muodostaa luettelo. (SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset, s.92)

2.6 Mittausapuvälineet

Standardeissa ISO 7976-1 ja ISO 7976-2 on lueteltu mitä mittausapuvälineitä missäkin mittaustyössä olisi suotavaa käyttää, ja miltä kohdin rakennetta tulisi tarkastella. Apuvälineiden valinta muodostuu useista eri tekijöistä, kuten siitä mitä mitataan ja millaisilla tarkkuuksilla mahdolliset mittapoikkeamat halutaan todentaa. Mittaushetkellä vallitsevat sääolosuhteet vaikuttavat myös välineiden valintaan, toiset mittalaitteet ovat alttiimpia olosuhteiden tuomille muutoksille, kuin toiset. Välineet tuleekin aina tarkastaa ennen käyttöönottoa, sekä käytön jälkeen puhdistaa huolellisesti, ja tarpeen mukaan huoltaa, tai lähettää huoltoon.

Mittaustöissä voidaan kuitenkin käyttää myös muitakin välineitä, kuin mitä standardissa esitetään, mikäli ne ovat helpommin saatavilla ja soveltuvat mittaustyöhön, ja ovat mittatarkkuudeltaan ja muilta vaatimuksilta samankaltaisia. Mittauksen suorittajan tulee tietää, miten kyseistä välinettä käytetään, jotta mittaukset ovat luotettavia.

Työntömitta: Se on väline, jolla saadaan tarkkoja mittauksia, kun mittausten maksimiarvo on 1000mm. Sillä voidaan suorittaa kappaleista sekä ulko- että sisämittojen mittauksia sen kaksipuolisten leukojen ansiosta.

Digitaalinen etäisyysmitta: Etäisyysmittareita käytetään, kun mitattavien kohteiden välimatka on yli 30m. Sitä on käytetty usein yhdessä teodoliitin kanssa, kun taas takymetrissa se on koneistoon kuuluva osa.

Go/no go mitta: Sillä mitataan eräänlaisen tulkin tavoin erilaisten osien aukkojen sisämittoja, olivatpa ne minkä muotoisia tahansa.

Kaltevuusmitta: Välineellä mitataan kappaleiden tai rakenteiden pysty- tai vaaka-asentoa tai tarkastellaan jonkin kappaleen suunniteltua kulmaa.

Laser- mitta: Väline, jota käytetään usein korkeuksien tai tasomaisuuksien poikkeamien toteamiseen.

Vatupassi: Sillä tarkastellaan kappaleiden vaaka- tai pystysuoruutta, kun riittää pienimpikin tarkkuus.

Vesivaaka: Sitä käytetään tapauksissa, joissa esimerkiksi vatupassia ei jostain syystä pystytä käyttämään.

Vaaituskoje: Sillä määritetään rakennuksilla tärkeiden pisteiden korkeuksia tai tasomaisuutta.

Mikrometri: Mittarilla saadaan erittäin tarkkoja mittaustuloksia, kun mittauksen maksimiarvo on 50mm.

Mittasuurennuslasi: Käytetään kun mittalaitetta ei päästä tarkastelemaan tarvittavalla tarkkuudella ilman laitetta.

Mittatikut: Mittatikkuun on vähintään toiseen reunaan merkattu mitta-asteikko, jota tarkastellaan. Voidaan käyttää sekä pysty-, että vaaka-asennossa.

Mittauskiila: Mitalla voidaan tarkastella esimerkiksi kahden lähekkäin olevan kappaleen välillä olevaa rakoa, työntämällä mitta rakoon, ja luetaan arvo kiilan mitta-asteikolta.

Optinen luoti: Laite muodostaa suoran pisteen kojeen kautta, joko pelkästään alaspäin, pelkästään ylöspäin tai sekä molempiin suuntiin.

Luoti: Yleensä langan päässä riippuva teräväkärkinen punnus, jolla mitataan jonkin pystysuoruutta. Luodin käytön yhteydessä tulee huomioda, että tuuli ja muut vallitsevat keliolosuhteet saattavat vaikuttaa mittauksen luotettavuuteen, varsinkin mikäli lanka, jonka päässä luoti roikkuu, on pitkä.

Suorakulma: Usein L:n muotoinen, pääsääntöisesti teräksestä valmistettu mittaustyökalu, jolla tarkastellaan kappaleen tai kappaleiden välisiä suoria kulmia.

Linjari: Suora, usein alumiininen lautta muistuttava väline, jolla voidaan tutkia esimerkiksi pilarin kaarevuutta.

Rullamitta: Väline, jota käytetään usein, kun mitataan maksimissaan 8 metrin etäisyyksiä, mitassa on usein millimetri asteikko.

Kelamitta: Samantapainen väline, kuin rullamitta, kelamittaa käytetään usein pidempien kuten yli 20 metrin etäisyyksien mittaamiseen.

Teodoliitti: Laitteella mitataan ja selvitetään esimerkiksi linjojen tai tasojen horisontaalisia ja vertikaalisia kulmia.

Kolmijalka: Kolmijalka toimii alustana erilaisille mittavälineille, kuten teodoliitille tai tasolaserille. Valmistetaan usein joko puusta tai alumiinista, alumiini on alttiimpi lämpövaihtelulle. (SFS-ISO 7976-1:1990, s.69-79.)

3 LEICA TS15

3.1 Nykyaikaiset takymetrit

Takymetri ei ole mikään uusi keksintö, vaan ensimmäinen koaksiaalinen takymetri integroidulla tallentimella tuli markkinoille vuonna 1978. Tuolloin laite oli todella paljon erilainen tänä päivänä käytettäviin laitteisiin verrattuna, se oli painava ja paljon virtaa kuluttava, sekä se sisälsi nykyaikaisiin kojeisiin verrattuna paljon vähemmän erilaisia ominaisuuksia, joita nykyisin eri laitetoimittajien perusmallitkin sisältävät. Vielä 90-luvullakin eri laitevalmistajilla oli vain muutama eri kojemalli, kun taas nykyisin useilla laitevalmistajilla on jopa kymmeniä erilaisia kojemalleja valikoimissaan.

Erilaisten kojeiden markkinointi ja suunnittelu pohjautuu puhtaasti kojeen käyttötarkoituksen mukaan, esimerkiksi on kojeita, jotka on suunniteltu yksinkertaisempiin rakennusmittauksiin ja sitten taas suuria tarkkuuksia vaativiin teollisuusmittauksiin. Nykyaikaiset kojeet voidaan muokata melko pitkälle vastaamaan käyttäjän omia toiveita erilaisilla ohjelmilla ja muokkauksilla.

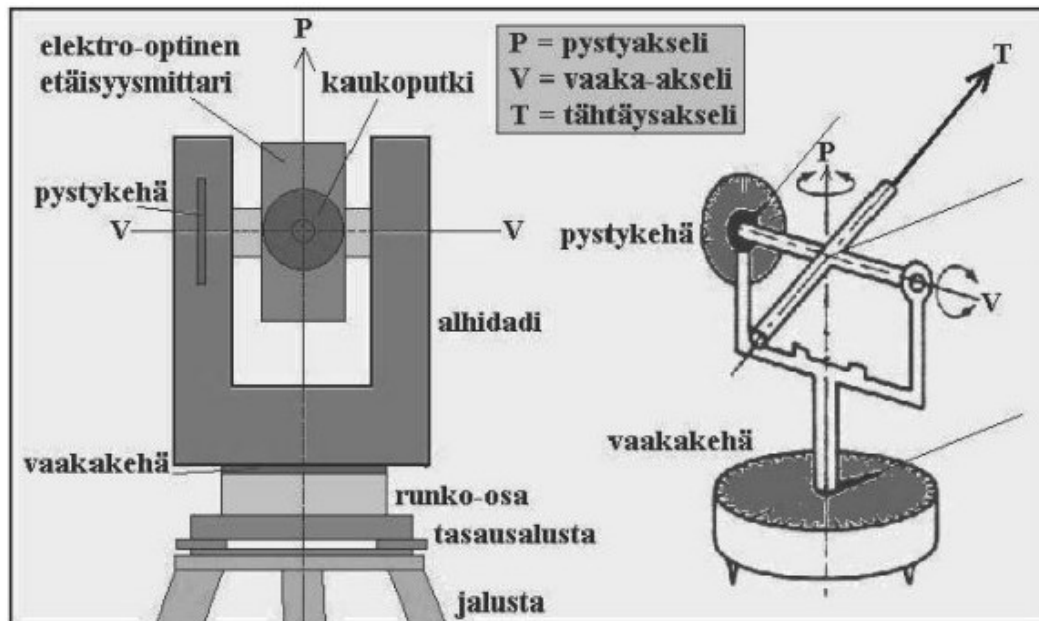
Kojeita voidaan luokitella usealla eri tavalla. Yksi hyvä tapa luokitella kojeita on niiden sisältämien ominaisuuksien mukaan. On olemassa manuaalinen takymetri, manuaalinen takymetri varustettuna prismattomalla etäisyydenmittauksella, moottoroitu koje tavanomaisella etäisyydsmittarilla, moottoroitu koje, jossa prismaton etäisyydsmittari, sekä moottoroitu koje, jossa on automaattinen prismantunnistusjärjestelmä. Edellä mainitut kokoonpanot voivat sisältää, tai niihin voidaan sisällyttää erilaisin sovelluksin tarvittavat tarvikkeet ja ohjelmalliset lisätoiminnot, jotta niitä voidaan hallita erilliseltä etäyksiköltä, maastotietokoneelta. Tällöin takymetrusta käytetään nimitystä robottitakymetri. Takymetrin ja etäyksikön välinen tiedonsiirto toteutetaan joko optisen linkin tai radiomodeemin välityksellä. (6)

3.2 Laite ja sen osat

Leica TS-15 on yhteiskäsite, joka kuvaa Leica viva series:in kaikkia asemia, joihin kuuluu itse koje sekä maastotallennin. Kojen toiminta perustuu elektro-optiseen etäisyyden, sekä pysty- ja vaakakulmien mittaamiseen. Maastotallennin on maastokelpoinen säänkestävä tietokone, joka sisältää mittausohjelmat ja tallentaa mitattavat tiedot, se myös mahdollistaa takymetrin käytön etäohjattuna, sekä toimii apuvälineenä tiedonsiirrossa. Tiedonsiirrot voidaan suorittaa joko laitteen Bluetooth yhteydellä, liittämällä se suoraan kaapelilla tietokoneeseen tai siirtämällä tiedot USB-muistitikulle ja sieltä tietokoneelle. Mittauksesta saatuja tietoja voidaan myös tarkastella suoraan maastotallentimelta käsin. Laitteella on myös mahdollista ottaa kuvia mitattavista kohteista, sekä itse kojeessa, että maastotallentimessa on omat kameransa. Laitteella voidaan mitata kohteita erilaisten prismojen avulla, tai suoraan kohteen pinnasta prismattomalla mittauksella, laite mittaa sekä kohteen tasosijainnin että korkeuden. On tärkeää muistaa säilyttää

takymetria oikein. Laitteen ja sen osien varastointi tulee suorittaa kuivassa ja lämpimässä tilassa. Laitetta tulee myös huoltaa aika ajoin, ja se pitää käyttää kalibroinnissa aina määräaikaisesti.

Takymetrin pääosat ovat tasausalusta, alhidadi, runko-osa, optinen luoti, mittauskaukoputki ja etäisyysmittari. Tasausalusta on laitteesta irrallinen osa, jonka avulla koje kiinnitetään jalustaan. Tasausalustassa eli pakkokeskitysjalasssa on kolme jalkaruuvia, joilla säädetään kojeen asentoa. Runko-osa kiinnittyy tasaalustaan, ja se taas vaakakehään, joka asetetaan mittaustyössä vaakatasoon. Alhidadi, joka pyörii laitteen runko-osan suhteen kojeen pystyakselin ympäri, kannattelee laitteen mittauskaukoputkea, joka pyörii laitteen vaak akselin ympäri. Vaaka-akselin päässä alhidadin sisällä on pystykulmanmittaukseen tarkoitettu pystykehä. Elektro-optisen etäisyysmittarin osat sijaitsevat mittauskaukoputkessa ja sen ympärillä. Optinen luoti sijaitsee kojeen pohjassa ja se heijastaa kojeesta kohtisuoraan alaspäin punaisen pisteen, jota käytetään kojeen keskittämiseen. Laitteessa on myös kaksi liikeruuvia, joista toinen säätää pystysuoraa ja toinen vaakasuoraa liikettä, joilla koje tähdätään mitattavaan kohteeseen. Takymetria käytetään kolmijalalle asennettuna, jalka ja koje asetetaan suoraan, sanotaan että koje tasataan. Takymetrin kanssa käytetään yleensä puista jalkaa, joka tukee kojetta paremmin sen ollessa hieman raskaampi, kuin esimerkiksi vaaituskoje, jonka kanssa käytetään alumiinista kolmijalkaa. Puinen kolmijalka ei myöskään ole niin altis lämpötilan aiheuttamille muodonmuutoksille, jolloin siitä ei synny mittavirheitä. (P. Laurila, Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 2008, s.223)



Kuva 2. Takymetrin pääosat ja akselit. (P. Laurila, Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 2008 s.225)



Kuva 3. Leica kolmijalka (2)



Kuva 4. Leica 360° miniprisma (2)

3.3 Kojeen käyttö

Mittaustyötä aloitettaessa, laite asetetaan käyttökuntoon kiinnittämällä koje jalustan pöytälevyyn ja koje tasataan pakkokeskitysjalan ja rasiatasaimen avulla suoraan. Kojeen pystyttämisen yhteydessä tulee ottaa huomioon, että kun mittaustyötä aletaan suo-

rittamaan, sen sijainnista on näkymä mitattaviin kohteisiin tai suoraan niiden yläpuolelle, jolloin ne voidaan mitata suoraan pinnasta tai käyttämällä prismaa, ja siihen liisättävää vartta.

Koje ja maastotallennin käynnistetään, jolloin koje yhdistää itsensä maastotallentimeen, ja takymetrin käytöstä tulee etäohjattua, eli kaikki komennot ja mittaukset suoritetaan maastotallentimella. Seuraavaksi tallentimen valikosta haetaan tasain ja kompensattori toiminto, joka näyttää mihin suuntaan pakkokeskitysalkaa tulee vielä säätää, jotta koje on riittävän suorassa, tämän jälkeen koje pitää itse huolen tasaamisesta.

Kun koje on asetettu suoraksi, luodaan mittaukselle työ, joka nimetään käyttäjän haluamalla tavalla, koje pyytää tarvittavat tiedot, jotka käyttäjän tulee tallentimella syöttää. Ennen kuin luotuun työhön voidaan alkaa suorittaa mittauksia, tulee koje asemoida.

Asemointiin on monta eri tapaa, esim. orientointi linjaan tai tunnettujen mittapisteidä käyttö. Linjaan orientoidessa laite asemoidaan kahden pisteen mukaan, jotka muodostavat linjan, johon mittaukset perustuvat, ensimmäinen mitattu piste muodostaa nollapisteen, josta laite mittauksia tekee.

Kojetta asemoitaessa vapaan asemapisteen mukaan, pitää mittaustyötä tehtävältä alueelta olla vähintään kaksi tunnettua pistettä, joista on tiedossa niiden tasosijainti sekä korkeus. Nämä tiedot pitää viedä tietokoneen avulla tallentimelle, tai ne voidaan myös syöttää tallentimeen käsin. Pisteidä vienti tallentimeen tietokoneella tapahtuu tekstitiedoston muodossa. Tarvitaan pisteidä tiedot, eli X-, Y- ja Z-koordinaatit, sekä niiden nimet, jotta tunnistetaan, mitä pistettä milloinkin mitataan. Laite asemoidaan tunnettuihin pisteisiin mittaamalla vähintään kaksi tunnettua pistettä eli liitospistettä laitteella, jonka jälkeen koje määrittää oman uuden asemointinsa laitteen laske toimintoa käyttämällä. Kojä suorittaa laskemisen ja näyttää uuden asemoinnin tuloksen, jonka jälkeen mittauksia voidaan alkaa suorittamaan. Kojeen orientoiminen vaikuttaa kaikkiin mittauksiin, jotka kojeella suoritetaan, siksi on suositeltavaa orientoimisen jälkeen suorittaa jonkin tunnetun pisteen mittaaminen ja verrata tätä tulosta mittapisteen tunnettuihin koordinaatteihin, jotta nähdään, onko orientointi oikeellinen.

Laite voidaan asemoida myös käyttäen tunnettua asemapistettä, jolloin koje sijoitetaan jonkin tunnetun mittapisteen yläpuolelle käyttäen laitteen optista luotia. Tällöin kojeen alla olevasta tunnetusta pisteestä tulee kojeen asemapiste, jonka jälkeen mitataan kojeella toinen tunnettu piste, eli liitospiste. Tämän jälkeen kojeelle määritetään sen uusi asemointi kojeen laske toiminnolla, ja koje antaa uuden asemointinsa tuloksen, jonka jälkeen voidaan mittauksia alkaa suorittaa.

3.4 Mittaaminen

Ennen varsinaista mittaustyötä, tulee selvittää mitä pyritään laitteella mittaamaan. Kojе otetaan käyttöön kohdassa 3.2 esitetyllä tavalla, ja asemoidaan tunnettuun koordinaatistoon, jonka jälkeen mittaustyöt voidaan aloittaa. Mittaustyössä käytetään usein erilaisia tähyksiä kuten Leica miniprisma tai Leica tarraprisma tai voidaan valita prismaton mittaustapa. Jokaisella tähyksellä on omat prismavakionsa, jotka koje ottaa huomioon mittausta suorittaessaan. Kun valintoja tehdään eri tähysten välillä pitää muistaa tarkistaa maastotallentimelta, että tähyskorkeus on oikein, jos esimerkiksi tähykseen lisätään, tai siitä vähennetään käytettävää vartta.

4 MITTAUSMENETELMÄT JA TEKNIIKAT

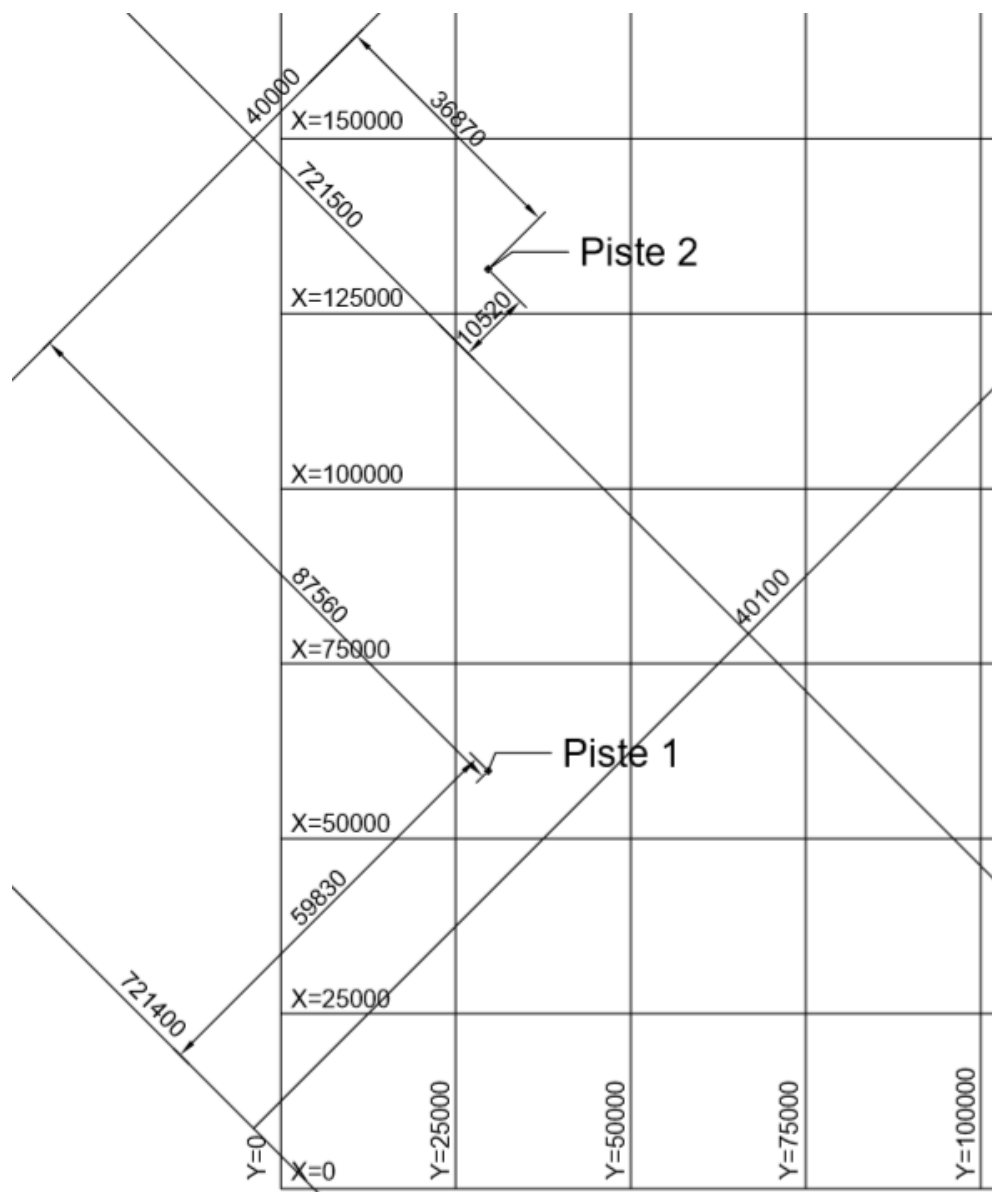
4.1 Mittaaminen

Paikalleen mittauksen tarkoituksena on se, että asennettavat laitteet ja laitteiden teräksiset kannatinrakenteet ja osat merkitään ja mitataan paikoilleen rakentamisvaiheen edellyttämällä tavalla. Paikalleen mittaus tapahtuu usein tunnetuilta kiintopisteiltä käsin. Työmaan suuruuden mukaan pisteet jaetaan eri luokkiin: työmaan peruspisteet, työmaan tihennyspisteet ja työmaan käyttöpisteet.

Työmaan peruspisteet muodostavat työmaamittauksen perustan ja ne liitetään valtakunnalliseen, kunnalliseen tai muuhun sovittuun runkopisteistöön.

Tihennyspisteet ovat peruspisteiltä mitattuja pisteitä, jotka muodostavat rakennuskohteen peruslinjojen tai moduulitasoston suuntien mukaan järjestetyn pisteistön. (H. Salmenperä, Maasto- ja rakennusmittausten perusteet 2002, s.135)

Opinnäytetyötä tehtäessä työmaalla kiintopisteinä käytettiin työmaan mittamiehen mittaamia ja määrittämiä työmaalle merkattuja mittapisteitä, jotka oli ilmoitettu Maailman koordinaatisto ETRS-GK26:ssa. Maailmankoordinaatistoa ja työmaan sisäistä lay-out koordinaatistoa vertailtiin työn aikana yhdessä, koska mittamiehen määrittämät tarkepisteet työmaalla olivat maailmankoordinaatiston arvoilla annettuja, kun taas asennettavien rakenteiden ja laitteiden pääkokoonpanokuvissa oli työmaan sisäiset lay-out linjat. Rakenteiden ja laitteiden paikalleen mittaaminen toteutettiin siirtämällä tarvittavat linjat rakenteiden pääkokoonpanopiirustuksista piirustukseen, jossa näkyivät sekä maailmankoordinaatisto, että työmaan sisäinen koordinaatisto.



Kuva 5. Havainne piirustus maailmankoordinaatistosta yhdessä työmaan koordinaatiston kanssa.

Yllä olevalla havainne piirustuksella on tarkoitus kuvata, miten pisteitä mitataan työmaaolosuhteissa maailmankoordinaatistosta. Teräsrakenteiden ja laitteiden asennuspiirustuksissa on näkyvissä niiden sijainti työmaan X- ja Y-koordinaattien suhteen. Halutut mitattavat pisteet siirretään rakenteiden ja laitteiden piirustuksista näiden linjojen suhteen maailmankoordinaatistoon, jonka jälkeen pisteille voidaan laskea koordinaatit. Yllä olevasta kuvasta voidaan esimerkiksi laskea koordinaatit pisteille 1 ja 2. Pisteen yksi koordinaatit ovat N=72149.830m ja E=40087.560m. Pisteen kaksi koordinaatit ovat N=72150.520m ja E=40036.870m. Nämä koordinaatit syötetään takymetriin, jonka jälkeen ne voidaan mitata.

4.2 Mittausmenetelmät

Mitattaessa mittauksen tavoite on yleensä selvittää mitattavien kohteiden taso- ja korkeussijainti. Mittaukseen on monia eri tapoja, ja mittaustyössä tarvitaan takymetrin lisäksi muita apuvälineitä, kuten mittanauha, vatupassi, suorakulma ja merkkauvälineet. Mittaustilanteita on monia erilaisia, voidaan suorittaa paikalleen mittausta, koronmittausta tai tarkastusmittauksia.

Linjan merkkäminen. Linjaa merkataan tilanteissa, joissa asennustöissä on oleellista tietää laitteen tai laitetta kannattelevan teräsrakenteen esimerkiksi keskilinjan sijainti asennuskohteessa. Linjaa merkattaessa ensin tarkastellaan asennuksessa olevan laitteen tai kannatinrakenteen asennus- tai pääkokoonpanopiirustuksesta, jossa näkyy työmaalla olemassa olevat moduulilinjat, sekä laitteen tai sen kannatinrakenteen keskilinjat. Piirustuksesta mitataan laitteen keskilinjasta ainakin kaksi pistettä, ja lasketaan niiden koordinaatit asennuskohteessa. Lasketut koordinaatit syötetään takymetrin maas-tollentimeen, mitataan ja merkataan asennuskohteeseen.

Pisteiden merkkäminen. Pisteiden merkkäminen tapahtuu samalla kaavalla kuin linjan merkkäminen, kuitenkin sillä erolla, että yksittäiset pisteet eivät välttämättä muodosta mitään yhtenäistä linjaa, kun mittaus on suoritettu. Pisteiden mittausta asennustyömaalla käytetään esimerkiksi esikasauksen aikana, jolloin saadaan työmaalle selvä piste mihin lähdetään esikasausta suorittamaan, ja pisteestä saadaan samalla selville sen korkeusasema, jotta voidaan tehdä tasainen pohja esikasattavalle rakenteelle.

Koron mittaaminen. Asennustyömaalla tarvitaan laitteita ja teräsrakenteita asennettaessa korkotietoja, korkomerkkejä usein löytyy työmaalta, mutta niiden siirrossa saattaa usein tulla korkoon heittoja ja epätarkkuutta, jolloin takymetrillä voidaan merkata esimerkiksi asennuskohteen välittömään läheisyyteen tarkasti korkomerkki, josta sitä voidaan käyttää suoraan, ilman että se pitää tuoda jostain kauempaa, käyttäen esimerkiksi tasolaseria tai vatupassia. Takymetrillä voidaan myös mitata korkoja suoraan asennettaviin kohteisiin. Esimerkiksi peruspulttien säätäminen oikeaan korkoon käy takymetrillä kätevästi, kun koje asemoidaan työmaan joihinkin tunnettuihin pisteisiin, jolloin koje laskee oman korkonsa. Näin voidaan mitata esimerkiksi prismalla korkoja peruspultteihin ja säätää pultit oikeaan korkoon.

5 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

5.1 Tulosten tulkinta ja esittäminen

Tuloksien tulkintaan on useita erilaisia tapoja, mitatuista tuloksista voidaan tuoda maastotallentimelta tietokoneelle esimerkiksi lista, jossa näkyvät mitattujen pisteiden nimet sekä taso- ja korkeussijainnit. Mittauksista voidaan myös tuoda tietokoneelle CAD-ohjelmalla avattava tiedosto, jossa näkyy mitatut pisteet toisiinsa nähden ja niitä voidaan tarkastella tasossa.

Mittaustulosten esittämiseen ei ole olemassa yksiselitteistä täysin oikeaa tapaa. Mittaustulosten tarkkuuden esittäminen voi vaihdella mitattavan kohteen mukaan, esimerkiksi annetaanko mittaus tarkkuudella 541 metriä, vai 0,5km. Tulos voi myös olla tarkkuutta lisättäessä jotain väliltä 540,5 - 541,5 metriä. (H. Salmenperä, Maasto- ja rakennusmittausten perusteet 2002 s.189)

Opinnäytetyön aikaisia mittauksia tehdessä mittaustulosten antaminen tehtiin millimetrin tarkkuudella.

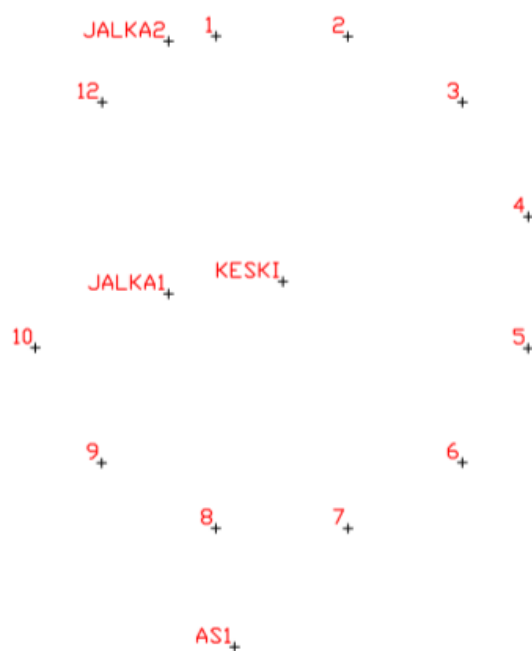
5.2 Mittausvirheet

Täysin virheettömään mittaustulokseen on yleensä mahdotonta päästä. Mittaukset voidaan sen sijaan suorittaa etukäteen asetetun tarkkuusvaatimuksen mukaisesti. Mittausvirheet jaotellaan kolmeen luokkaan. Karkeat virheet ovat luonteeltaan erehdyksiä, esimerkiksi lukemavirhe tai virheellinen havainnon kirjaaminen ovat esimerkkejä tällaisesta virheestä. Mittaustyö tulee suorittaa siten että karkeat virheet paljastuvat mittaustuloksia tarkasteltaessa. Systemaattinen virhe on jossain funktionaalisessa yhteydessä mittaushavaintoon. Sen aiheuttaa mittauslaite tai mittaja. Esimerkiksi lämpötilakorjauksen laiminlyönti saattaa aiheuttaa tällaista virhettä. Satunnaiset virheet ovat tilastollisesti riippumattomia sekä toisistaan että tunnetuista ulkopuolisista tekijöistä. Itseisarvoltaan pienet virheet ovat todennäköisempiä kuin suuret. (H. Salmenperä, Maasto- ja rakennusmittausten perusteet 2002, s.185)

6 MITTAAMINEN TYÖMAALLA

6.1 Esikasausalueen mittaukset

Työmaalla suoritettiin useita erilaisia mittauksia. Esikasauksen yhteydessä takymetrillä mitattiin esikasattavien rakenteiden kulmapisteiden sijaintia ja korkotietoja, jotta esikasattava rakenne on helpompi kasata suoraksi pedatulle alustalle, josta on olemassa korot, ja paikat on merkattu työmaalle. Kuvassa 6. näkyy BIO-siilon kattorakenteen esikasausalue, pisteet ovat numeroitu 1-12 ja jokainen piste on paikka, jonka päälle katto esikasataan. Pisteet on ensin mitattu asennuspiirustuksesta kuvassa kuusi näkyvistä jaloista (jalka1 ja jalka2), joiden mukaan takymetri on asemoitu, käyttäen linjaan orientoimista. Pisteet on ensin haettu takymetrin merkkiä toiminnolla, merkattu asennuskohteessa maahan käyttäen merkkkausmaalaa, jonka jälkeen piste on myös mitattu ja tallennettu, jotta pisteestä saadaan myös korkeusasema selville, ja voidaan alkaa rakentamaan petiä esikasattavalle rakenteelle. Kuten kuvasta kuusi voidaan nähdä, kaikkia pisteitä ei saatu mitattua katolle, tästä ei kuitenkaan esikasauksessa aiheutunut vahinkoa, koska esikasausta voitiin suorittaa mitatuilla pisteillä. Puuttuvasta pisteestä mitattiin työmaalla korkeus tasolaserilla, kun esikasausta oli siinä pisteessä, että tietoa tarvittiin. Taulukko 1stä voidaan laskea mitattujen pisteiden korot. Kyseinen mittaus suoritettiin katon esikasauksen helpottamiseksi, joten mittauksia ei sen enempää tarvinnut analysoida.



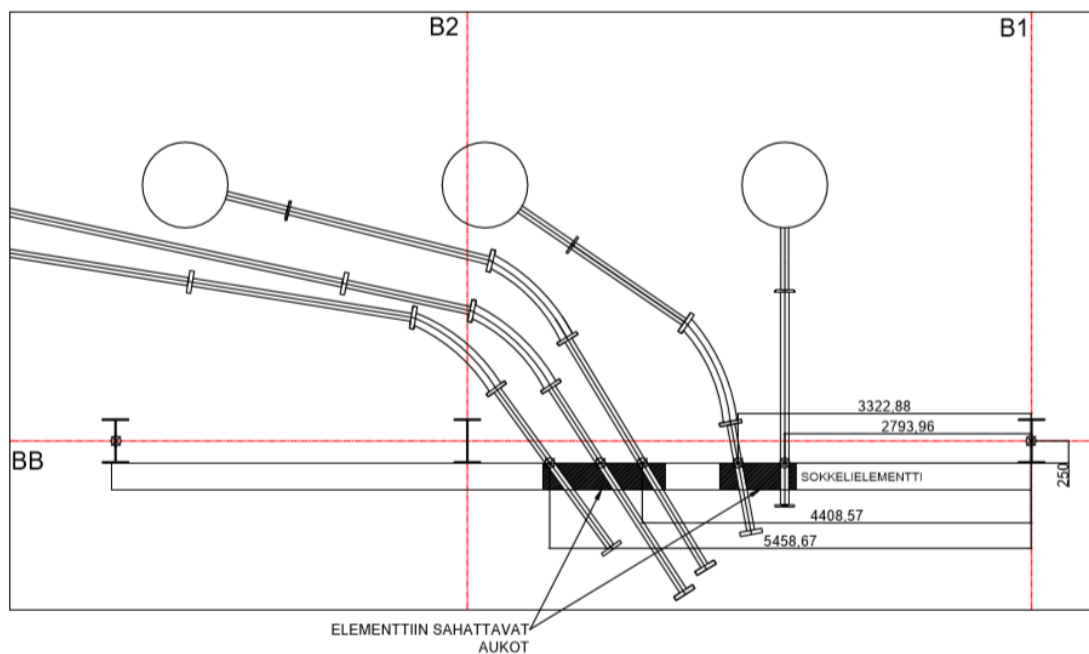
Kuva 6. Siilon katon esikasausalue

Piste	y	x	z
JALKA1	-0.000	0.000	-0.124
JALKA2	-0.000	10.802	-0.210
AS1	2.824	-15.105	0.000
1	2.035	11.021	-1.392
2	7.665	11.003	-1.542
3	12.556	8.192	-1.569
4	15.375	3.303	-1.583
5	15.364	-2.328	-1.621
6	12.552	-7.215	-1.700
7	7.667	-10.032	-1.679
8	2.023	-10.026	-1.686
9	-2.855	-7.232	-1.636
10	-5.690	-2.310	-1.428
12	-2.836	8.191	-1.267
KESKI	4.885	0.519	-1.519

Taulukko 5. Katon esikasausalueen korko- ja tasosijainnit

6.2 Läpivientien merkkaaminen

Työmaalla mitattiin myös sokkelielementin läpimenevien putkistojen paikkaa sokkeleihin, eli takymetrillä merkattiin elementtiin paikat, joista putket menevät läpi. Läpiviennit mitoitettiin suodatinrakennuksen runkopilarien linjan mukaan asennuspiirustuksesta. Pisteitä, joista putket lävistivät sokkelielementin, oli yhteensä viisi kappaletta, näistä pisteistä mitattiin keskipisteiden taso- ja korkeussijainti rakennuksen runkopilarien muodostamaan keskilinjaan nähden. Takymetri orientoitiin rakennuksen rungon nurkkapilareiden keskilinjaan, joista myös halutut pisteet mitattiin. Pisteet haettiin sokkelielementtiin takymetrin merkkää toiminnolla, ja ne merkattiin elementtiin. Merkkauksista mitattiin elementtiin tulevien aukkojen reunat. Mittauksia ei ollut syytä tallentaa, koska läpiviennit merkattiin, jotta elementtiin voidaan tehdä läpivientireiät. Koska kaikki putkista eivät lävistäneet sokkeliä kohtisuoraan, piti sokkeliin mitoittaa aukko siten, että sen reunat olivat putken uloimman reunan ulkopuolella. Mittaukset suoritettiin takymetrillä, jotta voitiin selvittää, onko takymetri tehokas kyseiseen mitaustoimenpiteeseen. Mittauksen olisi voinut suorittaa myös käyttämällä linjalaseria, mittanauhaa ja vatupassia.



Kuva 7. Putkilinjojen läpivienti sokkelielementistä

6.3 Seulomorakennuksen laiterungon suoruuden todentaminen

Työmaalla asennettiin seulomorakennuksen kantava teräksinen laiterunko, joka koostui erilaisista teräsprofiili pilareista ja palkeista. Rungon sijainti kohteessa mitoitettiin rungon läpi kulkevien kuljettimien keskilinjoihin mukaan. Eli seulomorakennukselle tulee yksi, ja sieltä lähtee toinen kuljetin, joiden keskilinjoihin mukaan laiterunko pitää saada oikealle kohdalle. Linjoista mitoitettiin pilarien keskipisteet, josta mitoitettiin paikat peruspulteille, jotka kiinnitettiin hitsaamalla perustuslevyihin. Pilareiden suoruuden todentaminen takymetrillä mitattiin siten, että pilarin alapäästä mitattiin pilarin keskilinjasta piste ja se tallennettiin. Seuraavaksi mitattiin pilarin yläpäästä piste, joka oli myös samalla kohdalla pilarin keskilinjasta, kuin pilarin alapäästä mitattu piste. Pisteen mittaustulokset tallennettiin. Tämä mittaus suoritettiin kaikille pilareille. Mitattuja pisteitä verrattiin toisiinsa ja tarkistettiin ettei X- ja Y-koordinaateissa ole heittoja. Eli tarkastettiin että pilarit olivat toleranssien mukaan suorassa. Toleranssit löytyvät standardista SFS-EN 1090-2 taulukosta B.17, kun tarkastellaan rungon toteutusluokkaa vastaavaa kohtaa taulukossa.

6.4 Kuljetinsillan teräsrakenteiden mittaukset

Työmaalla mitattiin ja merkittiin myös kuljetinsiltojen aloitus ja pääteisteitä, kuljetinsillan kannatinjalkojen ja peruspulttien taso- ja korkeussijainteja. Kuljetinsiltojen asennusvaiheessa oli tärkeää merkitä kuljetinsillan lähtöpäässä sijaitsevien kiinteiden ja hitsattavien jalkojen paikat, jotta kuljetinsiltaa asennettaessa kaikki sillan teräsrakenteet osuvat varmasti kohdilleen. Kuljetinsilta koostuu ristikkomaisesta teräsrakenteesta, joka tukeutuu perustusten välityksellä maahan teräksisten kannatinjalkojensa kautta. Sillat saattavat olla joskus hyvinkin pitkiä, ja jalat huomattavan korkeita, joten valmistelevat työt pitää tehdä huolella, jotta asennukset sujuvat mutkitta, ja lopputuloksena on suorassa linjassa kulkeva kuljetinsilta.

Mittauksia suoritettaessa takymetri orientoitiin vapaan asemapisteen menetelmällä sellaiseen paikkaan, josta on näkyvyys mitattavien peruspulttien ja sillan lähtöpisteessä olevien perustuslevyjen, sekä asemointiin tarvittavien työmaan tunnettujen mittapisteen luo. Ensin takymetrillä mitattiin kaksi tunnettua mittapistettä työmaalta, jonka

jälkeen takymetrillä laskettiin kojeen uusi asemapiste. Tämän jälkeen luodaan uusi työ mitattaville pisteille. Tässä esimerkissä mitattiin kuljetinsiltaa, jonka lähdössä oli kaksi perustuslevyä, sekä 11 erillistä pulttiryhmää, joissa jokaisessa oli neljä peruspulttia, eli yhteensä 44 peruspulttia. Ennen mittauksen aloittamista kuljetinsillan asennuspiirustuksesta selvitettiin sillan lähdön jalkojen teoreettiset keskikohdat, niille laskettiin koordinaatit ja ne siirrettiin takymetrin maastotallentimelle, jotta ne voitiin hakea takymetrin merkkiä ja mittaa toiminnolla. Mittaukset aloitettiin perustuslevyistä, joihin haluttiin merkata sillan lähtö, sekä mitata levyjen korkeusasema, jotta voidaan laskea kuljetinsillan lähtöpäässä sijaitsevien jalkojen oikea katkaisumitta. Tämän jälkeen siirrytään mittaamaan peruspultteja loogisessa järjestyksessä pulttiryhmittäin. Pultista mitataan sen yläpään keskipisteestä taso- ja korkeussijainti, jotta voitiin tarkastella peruspulttien sijaintia. Mittauksen ohella säädettiin myös kannatinjalan alle tulevat mutteri ja aluslevy oikeaan korkoon asennusta varten.

Kuljetinsillan asennuksen jälkeen suoritetaan sillan teräsrakenteen linjan mittaus. Mittauksen voi toteuttaa eri tavoilla. Opinnäytetyötä tehdessä mittaus suoritettiin takymetrillä mittaamalla kannatinjalan yläpäässä sijaitsevan akselin pinnasta pisteet.



Päiväys	15.4.2020	Piirustus	p*****		
Projekti	OEBIO	Kohde	Kuljetinsilta		
	Linja				
Mittapiste	Teoreettinen (mm)	Toteutunut (mm)	Erotus (mm)	Jalan korkeus (mm)	Suurin sallittu erotus (mm)
Jalka 1	1760	1759	-1	1510	3,0
Jalka 2	1760	1750	-10	7738	15,5
Jalka 3	1760	1752	-8	16280	32,6
Jalka 4	1760	1757	-3	22513	45,0
Jalka 5	1760	1734	-26	29901	59,8
Jalka 6	1760	1769	9	15524	31,0
Jalka 7	1760	1758	-2	18757	37,5

Mittauksella on tarkasteltu kuljetinsillan suoruutta.

Mittaukset on toteutettu kannatinjalan yläpalkin akselin ulkopinnasta.

Teoreettiset mitat on otettu kuljetinsillan keskilinjasta.

Mittaukset on suoritettu -1°C lämpötilassa

Taulukko 6. Kuljetinsillan suoruuden mittauspöytäkirja

Kuljetinsiltojen teräsrakenteet käsitetään yksikerroksisina teräsrakenteina, ja niiden sallitut mittapoikkeamat löytyvät taulukko kakkosesta, kohdista yksi ja viisi. Kun mittaukset on saatu suoritettua, mittaustuloksia tarkastellaan siten, että vertaillaan teoreettisia ja toteutuneita mittoja keskenään. Kuljetinsillan toiminnan kannalta on tärkeää, että kuljetinsilta on suorassa linjassa. Teräsrakenteesta mitataankin vain sen linjaa, koska kuljetinsilta on altistuneena lämpöliikkeelle, joten sen tasosijainti pituussuuntaansa nähden saattaa sillan pituuden takia olla huomattavan suuri, kun taas linjaansa nähden kuljetinsillan muodonmuutokset eivät ole niin suuria.

Ylläpuolella oleva taulukko kuusi on esimerkki kuljetinsillan suoruuden todentavasta mittauspöytäkirjasta. Taulukkoon on merkitty mittauksen yksilöidyt tiedot, sekä pisteet, joista mittaukset on suoritettu, sekä siinä on kerrottu mittaustuloksina suoruudesta poikkeavat heitot. Kuten mittauksista käy ilmi, kuljetinsillan suoruus on standardin EN 1090-2 taulukon kaksi, kohdan yksi mukaan sallituissa rajoissa. Taulukko antaa toteutusluokka kakkoselle raja-arvot $\Delta = \pm h/500$.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön aikana suoritettiin monenlaisia erilaisia mittauksia takymetria käyttäen. Ennen työn aloittamista työn tekijällä ei ollut kovin kattavaa kokemusta takymetrin käytöstä, vaan käyttöä piti harjoitella ja asioista ottaa selvää, niin erilaisista mittauksia koskevista teoksista, kuin asiasta tietäviltä henkilöiltä. Takymetrin käytöstä tuli mittauksen edetessä ja toimintojen tutuiksi tullessa tehokasta, ja nopeaakin. Takymetria voidaan hyödyntää lähes missä vain mittauksissa työmaalla, vaikka joskus perinteisemmät mittausapuvälineet ja mittaukset saattavat olla tehokkaampia. Takymetrin käytön yhteydessä mittajaan tulee osata käyttää tietysti takymetrin eri toimintoja, CAD-piirustusten käsittely ohjelmia, Excelin perustoimintoja, sekä ymmärtää miten koordinaatit toimivat.

Mittauksia suoritettaessa on otettava huomioon mistä kohtaa rakennetta sitä mitataan, jotta voidaan olla varmoja, että piste, joka on mitattu asennetusta teräsrakenteesta, voidaan myös todentaa teoreettisena arvona rakenteen asennuspiirustuksesta. Mittauksessa voi tulla vastaan erilaisia haasteita. Esimerkiksi prisma ei sovellukaan mittaukseen, koska se ei sovi johonkin haluttuun paikkaan teräsrakenteen geometrian vuoksi. Myös ulkona mitattaessa erilaiset sääilmiöt vaikuttavat mittauksiin, kuten sanoksumu tai rankka vesisade.

Standardien tulkinta ei ole aina täysin yksiselitteistä, vaan se voi aiheuttaa tietyissä tapauksissa haasteita. Opinnäytetyön aikana asennetuissa teräsrakenteissa yhdistyivät standardin 1090-2 mukaisia ja konedirektiivin mukaisia kokoonpanoja, jolloin pitää tietää, mitkä osakokonaisuudet kuuluvat minkäkin standardin piiriin.

Takymetrin käyttö asennustyössä tuo työhön nopeutta ja tarkkuutta. Monesti työmaalla joudutaan suorittamaan pitkien välimatkojen mittauksia, jotka esimerkiksi mittanauhaa käyttämällä voivat olla hyvinkin haastavia esimerkiksi kovalla tuulella pitkällä mitalla voidaan saada suuriakin mittausvirheitä ja myös lämpötilan vaihtelu vaikuttaa mittaukseen, varsinkin jos mittanauha on teräksinen. Tällaisissa tapauksissa onkin tärkeää suorittaa enemmän kuin yksi mitta. Lopputuloksena voidaan todeta, että takymetri on teräsasennustoissa todella hyvä työkalu, jota tulisi käyttää työssä nykyistä enemmän.

LÄHTEET

1. P. Laurila, Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 2008
2. Leica geosystems, <https://leica-geosystems.com/fi-fi>, luettu 7.10.2019
3. H. Salmenperä, Maasto- ja rakennusmittausten perusteet. 3/2002
4. SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. 2018
5. Teräsrakenneyhdistys ry, Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3-oppikirja. 2010
6. Maankäyttö www-sivut 2004. http://www.maankaytto.fi/ar-kisto/mk404/mk404_75_wikman.pdf Viitattu 7.5.2020
7. SFS-ISO 7976-1:1990 Tolerances for building products – Part 1: Methods and instrumets. 1990
8. SFS-ISO 7976-2:1990 Tolerances for building. Meathods of measurement of buildings and building products. Part 2: Position of measuring points. 1990