

Antti Laine

Seurantamittaukset takymetri- ja tarkkavaaitus- kalustolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriytyö

7.5.2018

| | |
|---|--|
| Tekijä Otsikko | Antti Laine Seurantamittaukset takymetri- ja tarkkavaaituskalustolla |
| Sivumäärä Aika | 41 sivua 7.5.2018 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | maanmittaustekniikka |
| Ohjaajat | yksikön päällikkö Harri Turkki lehtori Ilkka Partonen |
| <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena on kehittää Ramboll Finland Oy:n seurantamittausten toimintatapoja ja dokumentointia. Työssä keskitytään painumatarkkailuprojekteihin, jotka suoritetaan tarkkavaaitsemalla ja takymetrillä.</p> <p>Seurantamittauksia tehdään, kun halutaan selvittää kohteen, esimerkiksi rakennuksen tai tienpenkan, mahdollinen liike tai muodonmuutos. Tällöin kohdetta seurataan joko mittamalla kohde samalla tavalla tietyin väliajoin tai jatkuvasti ja vertaamalla saatuja tuloksia keskenään. Käytettävän mittausmenetelmän valinta riippuu odotettavissa olevan liikkeen suuruudesta, kohteen laajuudesta, tarkkailujakson pituudesta sekä hinnasta.</p> <p>Seurantamittauksissa on tärkeintä mittausten toistettavuus ja samankaltaisuus. Tämä edellyttää erityistä huolellisuutta ja kattavaa raportointia. Kun mittauksista raportoidaan kaikki siihen vaikuttavat tekijät, esimerkiksi säätila, käytetyt laitteet ja lähtöpisteet, on mitaus helppo toistaa. Kun mittaukset suoritetaan joka kerta mahdollisimman samalla tavalla, on suurin muuttuva tekijä kohteen liike.</p> <p>Insinööriyön lopuksi on laadittu Ramboll Finland Oy:lle seurantamittauksissa käytettävä mittauspöytäkirja.</p> | |
| Avainsanat | takymetri, tarkkavaaitus, seurantamittaus, painumatarkkailu, toistettavuus |

| | |
|--|--|
| Author Title | Antti Laine Geotechnical Monitoring with Total Station and Accurate Leveling |
| Number of Pages Date | 41 pages 7 May 2018 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Land Surveying |
| Instructors | Harri Turkki, Department Manager Ilkka Partonen, Senior Lecturer |
| <p>The purpose of this bachelor's thesis was to improve the methods and documentation of geotechnical monitoring done with either accurate levelling or total station. To establish the challenges of geotechnical monitoring, previous projects were analyzed, and the products of various manufacturers studied to find the best tools for reliable and accurate results. In addition, studies and instructions about geotechnical monitoring were reviewed to create a guide about how to perform a geotechnical monitoring survey.</p> <p>The project showed that to get reliable and accurate results, a survey should always be repeated in exactly the same way, with the same survey stations, change points and even measurers. Every survey needs to be documented thoroughly so that it can be repeated and so that reasons for possible differences between separate surveys in a project can be found.</p> <p>The final year project resulted in a document that is to be filled after every geotechnical monitoring survey to understand what has been done, and to explain the possibly different results between surveys of one project. This thesis has already been used as a base of a new geotechnical monitoring project. The thesis aids in the gathering of accurate and reliable results in geotechnical monitoring done with either accurate leveling or total station.</p> | |
| Keywords | total station, accurate leveling, geotechnical monitoring, deflection observation, repeating |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Ramboll Group | 2 |
| 2.1 | Ramboll yrityksenä | 2 |
| 2.2 | Ramboll Suomessa | 2 |
| 2.3 | Rambollin maastotutkimukset | 3 |
| 3 | Vaaitus | 4 |
| 3.1 | Vaaituksen historia | 4 |
| 3.2 | Vaaituksen periaate | 4 |
| 3.3 | Vaaituskojeet | 5 |
| 3.4 | Tarkkavaaitus | 7 |
| 3.5 | Jonovaaitus | 8 |
| 3.6 | Vaaituksen sulkuvirhe ja tasoitus | 10 |
| 3.7 | Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät | 10 |
| 4 | Takymetrimittaukset | 13 |
| 4.1 | Historia | 13 |
| 4.2 | Takymetri | 13 |
| 4.3 | Takymetrimittaukset | 15 |
| 4.3.1 | Takymetrin orientointi | 15 |
| 4.3.2 | Takymetrimittauksen periaate | 16 |
| 5 | Seurantamittaukset | 19 |
| 5.1 | Tavoite | 19 |
| 5.2 | Seurantamittausten periaate | 19 |
| 5.3 | Seurantamittausmenetelmät | 19 |
| 5.3.1 | Geodeettiset menetelmät | 19 |
| 5.3.2 | Inklinometrit | 25 |
| 5.3.3 | Painumaletku | 26 |

| | | |
|-------|---------------------------------------|----|
| 6 | Rambollin painumatarkkailuprojekti | 27 |
| 6.1 | Taustaa | 27 |
| 6.2 | Työn tavoitteet | 29 |
| 6.3 | Mittausmenetelmän valinta | 29 |
| 6.4 | Tarkkuusvaatimukset | 30 |
| 6.5 | Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät | 31 |
| 6.6 | Projektin kulku | 33 |
| 6.6.1 | Alkukokous | 33 |
| 6.6.2 | Maastokatselmus | 33 |
| 6.6.3 | Mittaussuunnitelman laatiminen | 33 |
| 6.6.4 | Pisteiden ja pohjavesiputkien asennus | 35 |
| 6.6.5 | Nollamittaus | 36 |
| 6.6.6 | Seurantamittaukset | 36 |
| 6.6.7 | Tulosten analysointi | 37 |
| 7 | Yhteenveto | 38 |
| | Lähteet | 40 |

Lyhenteet

| | |
|-------|---|
| GNSS | Global Navigation Satellite System. Eri maiden ylläpitämien satelliittipainausjärjestelmien muodostama kokonaisuus. Sisältää esimerkiksi Yhdysvaltojen kansainvälisen GPS-järjestelmän, venäläisen Glonass-järjestelmän ja EU:n Galileo-järjestelmän. |
| N2000 | Suomen nykyinen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. Sen vertailutaso on länsieurooppalainen Amsterdamin taso (NAP Normaal Amsterdams Peil) |
| ppm | parts per million eli miljoonasosa (10^{-6}). Kertoo, kuinka monta miljoonasosaa matkasta arvioitava virhe on. Esim. Jos virhettä on 1 mm kilometrin matkalla, on suhdeluku tällöin 1 ppm. |

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on kehittää Ramboll Finland Oy:n seurantamittausten tarkkuutta, toimintaperiaatetta ja dokumentointia. Tavoitteena on myös luoda täytettävä mittauspöytäkirja Rambollin tulevia seurantamittausprojekteja varten. Insinööriyössä keskitytään seurantamittauksiin, jotka suoritetaan tarkkavaaitsemalla sekä mahdollisesti myös takymetrillä.

Sisällöllisesti tämä insinööriyö jakautuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa käydään läpi tarkkavaaitusten ja takymetrimittausten sekä näillä suoritettavien seurantamittausten yleinen toimintaperiaate. Siinä tutustutaan myös hieman muihin seurantamittausmenetelmiin.

Toisessa osassa keskitytään todelliseen seurantamittausprojektiin. Osiossa selvitetään projektin kulku ja esitetään uusia toimintatapoja, joita kokeillaan kyseisessä projektissa. Parannusehdotusten pohjalta luodaan toimintamalli tulevia seurantamittauksia varten. Varsinaisia tuloksia ja niiden analysointia ei tässä insinööriyössä ole mahdollista aikataulullisista syistä käsitellä, joten insinööriyö keskittyy projektin aloitukseen ja mittaus-suunnitelman laatimiseen.

2 Ramboll Group

2.1 Ramboll yrityksenä

Ramboll Group on Kööpenhaminassa Tanskassa Børge Rambøllin ja Johan Hannemanin vuonna 1945 perustama suunnittelu- ja konsultointiyritys. Aluksi yritys keskittyi radiomastojen suunnitteluun. Myöhemmin Ramboll Oy on kehittynyt johtavaksi suunnittelu- ja konsultointialan toimijaksi. [1]

Rambollin toimialat ovat Kiinteistöt ja rakentaminen, Infra ja liikenne, Kaupunkisuunnittelu, Vesi, Ympäristö ja terveys, Energia, Öljy ja kaasut sekä Johdon konsultointi. Rambollin tavoitteena on luoda innostavia ja vaativia sekä asiakkaita ja koko yhteiskuntaa palvelevia kokonaisratkaisuja. [2]

Rambollilla on yli 300 toimistoa 35 maassa. Yrityksellä on vahva asema kansainvälisenä toimijana Pohjoismaissa, Isossa-Britanniassa, Pohjois-Amerikassa, Lähi-idässä ja Aasian sekä Tyynenmeren alueella. Yrityksen palveluksessa työskentelee yli 13 000 asiantuntijaa. [2]

Ramboll-säätiö omistaa yli 97,5 % yhtiön osakkeista. Loput osakkeet ovat työntekijöiden omistuksessa. Ramboll-konsernin liikevaihto oli vuonna 2016 noin 1,4 miljardia euroa. [3]

2.2 Ramboll Suomessa

Ramboll Finlandin perustana toimi 1962 perustettu Viatek. 1990-luvulla Viatek liittyi ruotsalaiseen Scandiaconsult-konserniin. Vuonna 2003 Ramboll ja Scandiaconsult yhdistyivät, minkä jälkeen yrityksestä tuli osa Ramboll-konsernia. [4]

Suomessa yrityksessä työskenteli vuoden 2018 alussa 2 300 asiantuntijaa. Liikevaihto Ramboll Finland Oy:llä on 201 miljoonaa euroa. Yhtiön asiakkaita ovat ministeriöt, valtion virastot ja laitokset, kaupunkien ja kuntien organisaatiot, teollisuus, satamat, rakennusliikkeet sekä yritykset ja yhdistykset. [2]

2.3 Rambollin maastotutkimukset

Ramboll tarjoaa kattavia mittaus-, kairaus ja näytteenottopalveluita koko Suomen alueella. Hankkeiden koko vaihtelee yksittäisten omakotitalojen pohjatutkimuksista suurien infrahankkeiden maastotöidenkokonaisvaltaiseen läpivientiin. Maastoryhmien tiivis yhteistyö Rambollin suunnitteluasiantuntijoiden kanssa mahdollistaa hankkeiden optimoinnin ja parhaan lopputuloksen. [5]

3 Vaaitus

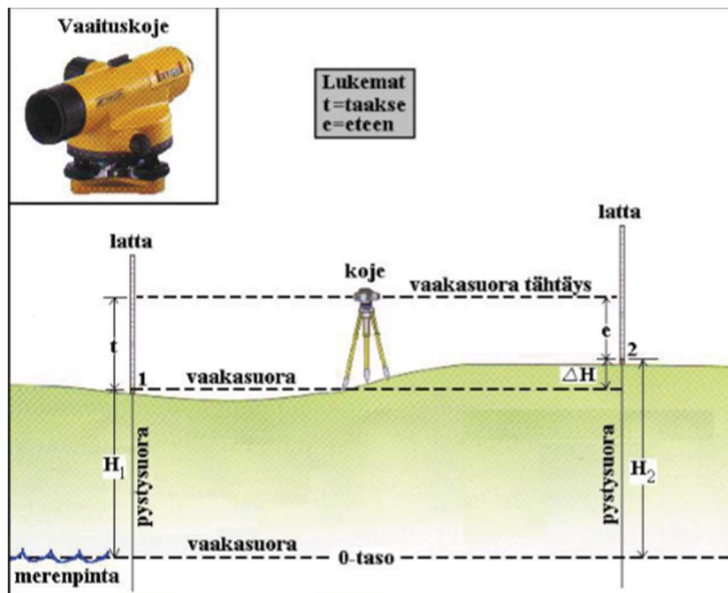
3.1 Vaaituksen historia

Vaaitus on hyvin yksinkertainen korkeudenmittausmenetelmä. Se on säilynyt hyvin samanlaisena satoja vuosia, vaikka sillä saavutetaan koko ajan tarkempia tuloksia. [6, s. 191]

Varhaisimmillaan vaaituksen historia ulottuu aina muinaiseen Egyptiin asti. Ensimmäiset vaaitusmenetelmät käyttivät säiliössä olevaa vettä havaitakseen samalla tasolla olevat kohteet. 1600-luvun puolivälissä ranskalainen Melchisedech Thevenot keksi säilöä vettä pieneen pulloon siten, että sinne syntyi ilmakupla. Keksintö nimettiin vesivaa'aksi eli vatupassiksi. Noin sata vuotta myöhemmin tämä idea toimi ensimmäisten vaaituskojeiden perustana. Myöhemmin alkoholi korvasi veden vatupassissa alhaisemman jäätymispisteensä ansiosta. [7, s. 22–23; 8.]

3.2 Vaaituksen periaate

Vaaitus perustuu kahden pisteen välisen korkeuseron mittaamiseen. Tämä tapahtuu hiusristikolla varustetulla kolmijalkojen päälle pystytettävällä vaaituskojeella. Vaaituskoje tasataan eli sen tähtäysakseli asetetaan vaakasuoraan säätämällä kolmijalkojen asentoa ja pituutta sekä kojeen omia jalkaruuveja. Tasauksen jälkeen kojeella mitataan taakse- ja eteenhavainnot pisteille viedystä pystysuorasta asteikosta eli latasta. Pisteiden välinen korkeusero saadaan vähentämällä eteenlukema taakselukemasta. Vaaituksen periaate on esitetty kuvassa 1. Vaaitus tarvitsee aina kaksi henkilöä, joista toinen käyttää konetta, ja toinen lattaa. [6, s. 193–194; 7, s. 21.]



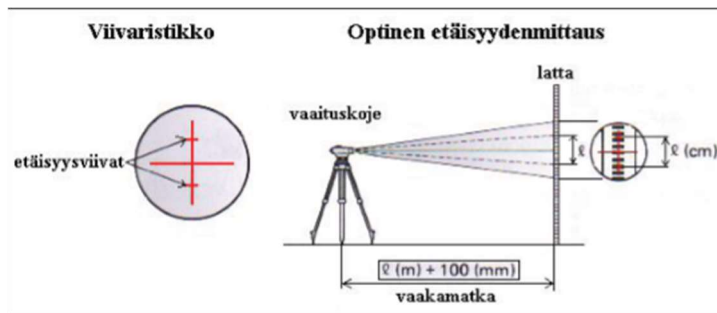
Kuva 1. Vaaituksen periaate [6, s. 193].

Vaaituksen tarkkuus ilmoitetaan usein kilometrin edestakaisen matkan keskihajonnalla esimerkiksi 20 ppm (parts per million). Tämä tarkoittaa sitä, että yhdellä kilometrin välisellä edestakaisella vaaituksella eli yhteensä kahden kilometrin mittaisella vaaituksella virheen suuruus on alle 20 millimetriä. [6, s. 198–199.]

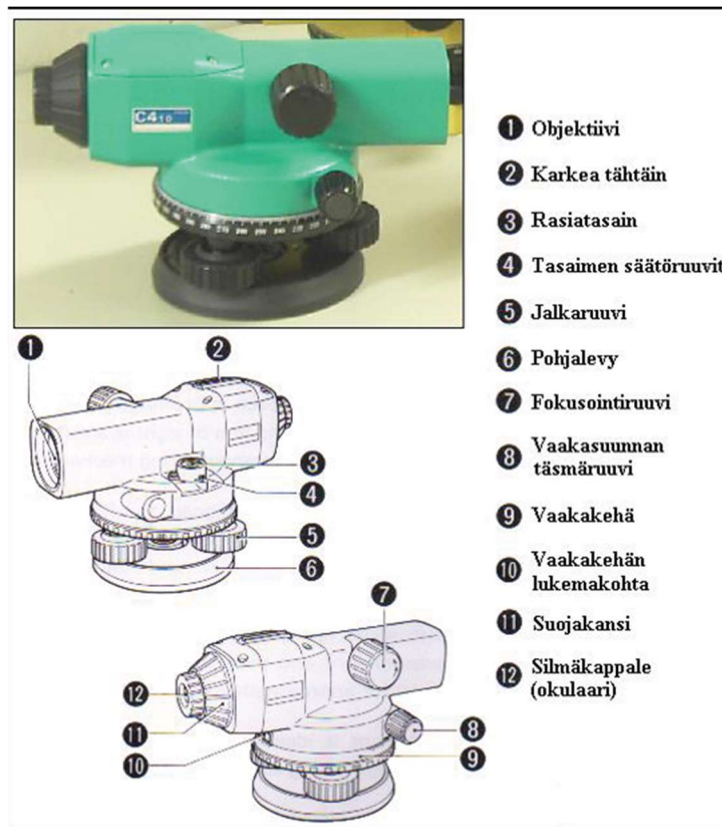
3.3 Vaaituskojeet

Vaaituskoje on kaiken kaikkiaan hyvin yksinkertainen optinen laite. Sen tärkein osa on hiusristikolla varustettu mittauskaukoputki. Tasausta varten kaukoputken runkoon on kiinnitetty rasiatasain ja jalkaruuvit. [6, s. 194.]

Vaikka vaaituskoje soveltuu tarkkuutensa puolesta vain korkeudenmittaamiseen, on sillä mahdollista suorittaa yksinkertaisia likimääräisiä säteittäisiä mittauksia sen runkoon kiinnitetyn vaakakehän avulla. Näin saadaan mitattua suunnat ja kulmat. Kun vaaituskojeella mitataan etäisyyksiä, puhutaan optisesta etäisyyden mittauksesta. Optinen etäisyyden mittaus tapahtuu lukemalla latasta vaaituskojeen viivaristikon etäisyysviivojen muodostavaan avauskulmaan jäävän latan pituus. Etäisyys on metreinä sama kuin viivojen väliin jäävän latan osan pituus senttimetreinä. Optista etäisyyden mittauksista on havainnollistettu kuvassa 2. [6, s. 194, 217.]

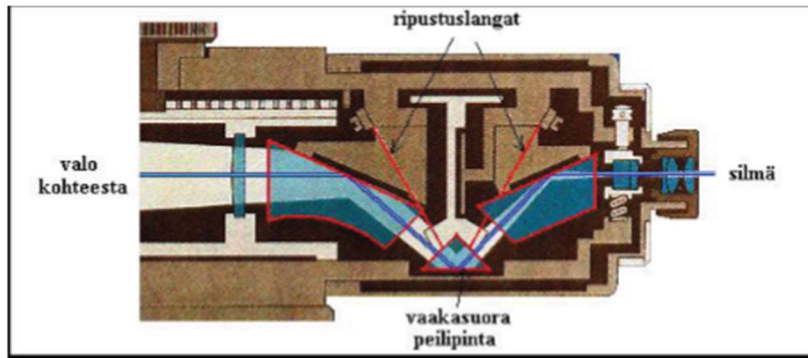


Kuva 2. Optinen etäisyydenmittaus vaaituskojeella [6, s. 217].



Kuva 3. Itsetasaavan vaaituskojeen (Sokkia 410) osat [6, s. 195].

Monet vaaituskojeet ovat nykyään itsetasaavia (kuva 3) eli niiden sisälle on rakennettu automaattinen tasain eli kompensattori (kuva 4). Kompensattorissa on joko peili- tai nestepinta, joka asettuu painovoiman vaikutuksesta vaakasuoraan, mikä ohjaa latasta lähtevän vaakasuoran tähtäyssäteen vaaituskojeen viivaristikon vaakaviivalle. Kompensattori toimii kuitenkin vasta silloin, kun koje on jo melkein vaakatasossa, jonka takia itsetasaavissakin vaaituskojeissa joudutaan karkea tasaus tekemään manuaalisesti kolmijalkoja ja kojeen jalkaruuveja säätämällä. [6, s. 194.]



Kuva 4. Peili- eli heilurikompensoattorin toimintaperiaate [6, s. 195].

Nykyään markkinoilla on monia eri käyttötarkoituksiin suunniteltuja vaaituskojeita ja lattoja, joiden mittaustarkkuudet vaihtelevat. Koska vaaituskojeen tarkkuus parantuu, kun kaukoputken suurennus kasvaa, ovat tarkimmat kojeet huomattavasti epätarkempia kojeita kookkaampia ja myös hintavampia. [6, s. 200–201.]

3.4 Tarkkavaaitus

Kun vaaituksessa on mahdollista päästä alle 0,5 mm keskihajontaan yhden kilometrin edestakaisessa vaaituksessa, puhutaan tarkkavaaituksesta. Tarkkavaaituskojeita on sekä tasainvaaituskojeita että digitaalisia vaaituskojeita. Tasainvaaituskojeissa keskeinen osa on optinen mikrometri, jonka avulla saadaan tarkempi mitta-asteikko. Digitaalisten vaaituskojeiden käyttö on koko ajan yleistymässä. Ne ovat itsetasaavia vaaituskojeita, ja muista kojeista poiketen ne tallentavat havainnot automaattisesti kojeen muistiin käsin kirjoittamisen sijaan. [6, s. 201–203.]

Digitaalisten vaaituskojeiden kanssa käytetään viivakoodilattaa, jota koje lukee automaattisesti. Tarkkavaaituslattojen mitta-asteikko on kiinnitetty invarteräksiseen nauhaan, koska sen lämpölaajenemiskerroin on hyvin pieni. [6, s. 196, 201–203.]

Digitaalinen vaaituskoje on helppokäyttöinen, aikaa säästävä ja sillä päästään erittäin tarkkoihin tuloksiin. Esimerkiksi Leica Geosystems digitaalisten vaaituskojeiden LS15 ja LS10 tarkkuudeksi on niiden teknisissä tiedoissa ilmoitettu 0,2 mm yhden kilometrin edestakaiselle vaaitukselle. Digitaalisen vaaituskojeen Geotrim Trimble DiNi 03 (kuva 5) teknisissä tiedoissa ilmoitetaan laitteen tarkkuudeksi puolestaan 0,3 mm kilometrin edestakaiselle matkalle. Vaaitus sujuu myös Geotrimin mukaan 60 % nopeammin, sillä koje lukee latan lukeman automaattisesti ja tallentaa sen suoraan omaan muistiinsa. [9; 10.]

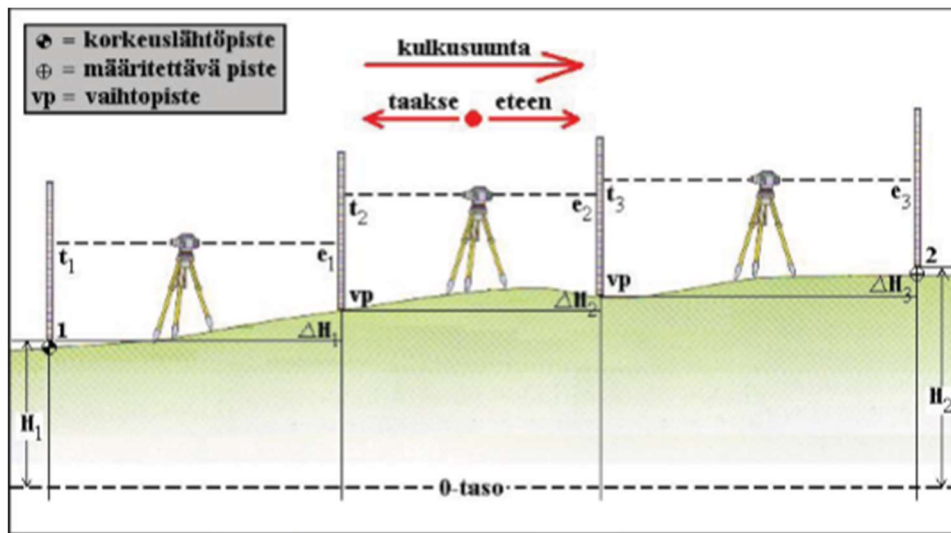


Kuva 5. Trimblen digitaalinen vaaituskoje DiNi 03. [10]

3.5 Jonovaaitus

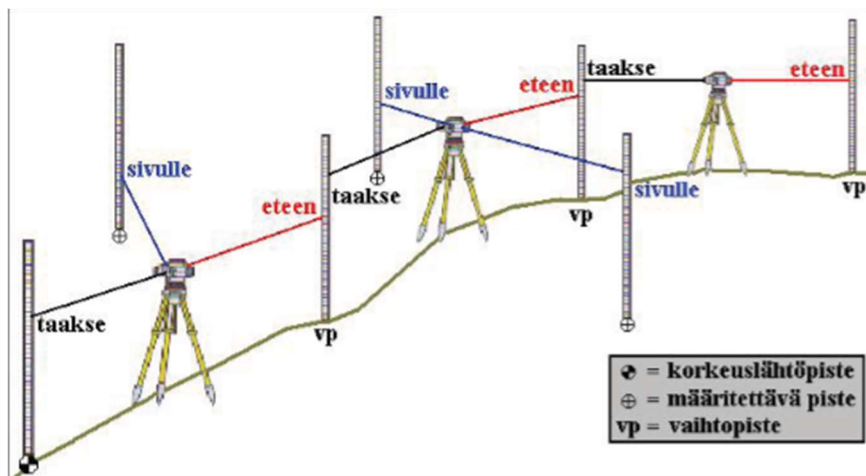
Suuret korkeuserot, pitkät etäisyydet tai näkemäesteet voivat aiheuttaa sen, että korkeuserojen mittaus ei onnistu yhdeltä kojeasemalta. Tällöin kojetta ja lattaa joudutaan siirtämään vuorotellen eteenpäin vaaituksen periaatteen mukaisesti. Tällöin puhutaan jonovaaituksesta. [6, s. 205.]

Jonovaaituksessa koje pystytetään ja tasataan maastoon, jonka jälkeen mitataan taaksehavainto korkeudeltaan tunnetulle pisteelle viedystä latasta. Kun havaittuun lukemaan lisätään pisteen korkeus, saadaan kojeen tähtäysakselin korkeus. Tämän jälkeen latta viedään eteenpäin niin sanotulle vaihtopisteelle, josta luetaan eteenhavainto. Kun eteenhavainto vähennetään kojeen tähtäysakselinkorkeudesta, saadaan vaihtopisteen korkeus. Lattan jäädessä vaihtopisteelle koje siirretään eteenpäin, tasataan, ja mitataan vaihtopisteelle jääneestä latasta taaksehavainto. Tällä tavalla korkeutta viedään eteenpäin ja edetään niin kauan, että kaikille halutuille pisteille saadaan vaaittua korkeus. Jonovaaituksen periaatetta on havainnollistettu kuvassa 6. [6, s. 205–206.]



Kuva 6. Jonovaaituksen periaate [6, s. 205].

Jonomittauksen yhteydessä on mahdollista tehdä myös sivullemittauksia (kuva 7). Sivullemittauksessa korkeutta ei viedä eteenpäin, vaan sillä määritetään jonkin tietyn pisteen korkeus. Samalta kojeasemalta tehdyillä sivullehavainnoilla on kaikilla sama taaksehavainto. [6, s. 206.]



Kuva 7. Jonovaaituksen tähtäysuuntia [6, s. 206].

Lopuksi jonovaaitus suljetaan korkeudeltaan tunnetulle pisteelle, jolloin saadaan lasketua mittauksen sulkuvirhe ja tasoitus. Vaaitus on myös mahdollista sulkea sen lähtöpisteeseen, jolloin puhutaan vaaitusverkosta tai -lenkistä. Tällöinkin on kuitenkin hyvä sisällyttää vaaitusverkkoon vähintään toinen korkeudeltaan tunnettu kiintopiste, jotta mittauksen luotettavuus parantuu, ja sen laatua ja onnistumista voidaan arvioida. [6, s. 208–211; 11.]

3.6 Vaaituksen sulkuvirhe ja tasoitus

Kun vaaitus aloitetaan ja suljetaan korkeudeltaan tunnetuille pisteille, saadaan jonolle tai lenkille laskettua sulkuvirhe. Sulkuvirhe on siis vaaituksessa loppupisteelle määritetyn korkeuden ja sen todellisen korkeuden välinen erotus. [6, s. 208–211.]

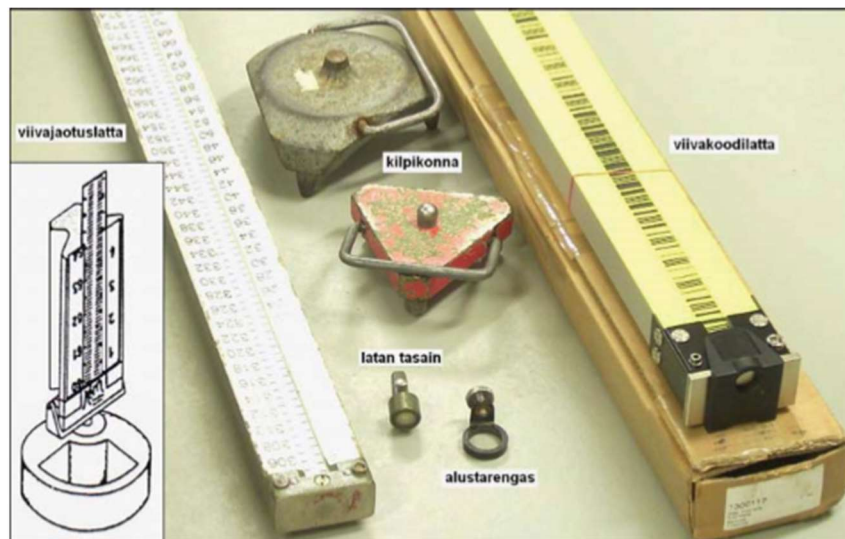
Sulkuvirheen tasoituksella tarkoitetaan sen jakamisesta koko vaaituksen matkalle. Tasoituksen oletuksena on siis se, että sulkuvirhe on syntynyt tasaisesti koko vaaitusmatkan ajan. Tasoituksen tarkoituksena on parantaa vaaituksella saatujen uusien pisteiden korkeustarkkuutta. [6, s. 208–214.]

3.7 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Vaaituksen suurimmat virheet liittyvät yleensä latan asteikon väärin lukemiseen ja havaintojen virheelliseen kirjaamiseen. Nämä virhelähteet poistuvat käytettäessä digitaalisia vaaituskojeita. Latta ei myöskään ole välttämättä aina pystyasennossa, jonka johdosta koneen tai mittaaajan havaitsema lukema on väärä. Monissa, varsinkin tarkkavaaituksessa käytettävissä latoissa on yksinkertainen rasiatasain (kuva 8), josta lattamies näkee latan pystysuoruuden. [6, s. 210–214; 7, s. 28; 10; 11]

Varsinkin viivakoodilatan (kuva 8) on oltava mahdollisimman kohtisuoraan vaaituskojeseen nähden, jotta koje pystyy havaitsemaan latan lukeman. Digitaalinen vaaituskoje lukee latasta noin 30 senttimetrin korkean alueen, minkä takia aivan latan ääripäihin tähtäämistä tulee välttää, sillä tällöin ei vaaituskoje välttämättä pysty lukemaan havaitsemaan.

Virheitä tapahtuu myös silloin, kun joudutaan työskentelemään pehmeällä maalla. Tämän vuoksi vaaituslenkit tulee tehdä mahdollisuuksien mukaan päällystettyjä teitä pitkin, ja latan kanssa on aina käytettävä latta-alustaa eli kilpikonaa (kuva 9). Vaaituslenkit on myös oltava mahdollisimman lyhyet, sillä virheen suuruus kasvaa, mitä pidempi lenkki on. [6, s. 210–214; 7, s. 31; 11.]



Kuva 8. Vaaituksessa käytettäviä apuvälineitä. Vasemmalla viivajaotuslatta ja oikealla viivakoodilatta [6, s. 202].



Kuva 9. Vaaituksessa käytettäviä apuvälineitä [6, s. 210].

Vaaituksissa on erittäin tärkeä käyttää lähtö- ja sulkupisteinä varmasti liikkumattomia kiintopisteitä. Vaaituksessa on käytettävä vähintään kahta korkeudeltaan tunnettua pistettä, jotta sen luotettavuus paranee. Lähtö- ja sulkupiste tulisi olla eri piste, mutta aina tämä ei ole mahdollista. Mikäli lähtö- ja sulkupisteenä käytetään samaa pistettä, puhutaan vaaituslenkistä. [11]

Vaaitaessa on huolehdittava siitä, että taakse- ja eteenmittaukset ovat suunnilleen yhtä pitkät. Tällä saadaan eliminoitua kojeen tähtäysakselin mahdollisesta kallistuksesta johtuvat virheet. Mittaajien on myös varottava, että tähtäysetäisyys ei kasva liian suureksi, sillä tällöin lattaa ei enää voida lukea tarpeeksi tarkasti. [6, s. 209; 11.]

Kalibrointi

Vaaituskojeeseen kohdistuvien kolhujen ja tärähtelyjen takia sen tarkkuus tulisi tarkastaa säännöllisin väliajoin. Tällöin on kyse kojeen kalibroinnista. Kalibroinnin tarkoituksena on vaaituskojeen tähtäysakselin saaminen täysin vaakasuoraan, ja tätä kautta mittalaitteen tarkkuuden määrittäminen. Kalibroinnilla tarkoitetaan siis mittalaitteen antamien arvojen oikeellisuuden testausta. Kalibroinnilla voidaan tarkoittaa laajempaa kokonaisuutta, jossa voidaan kalibroida mittalaitteen lisäksi myös mittausmenetelmä ja mittaaja itse, eli koko mittausjärjestely. Tällöin puhutaan järjestelmäkalibroinnista. [6, s. 329; 12, s. 27–28.]

Kalibrointitavat voidaan jakaa määrityskalibrointiin ja seurantakalibrointiin. Määrityskalibroinnin suorittaa kansallisen tai kansainvälisen organisaation valtuuden omaava henkilö laboratorio-olosuhteissa. Määrityskalibroinnilla todetaan, onko kojeen mittaustarkkuus määräysten ja laitevalmistajan ilmoituksen mukainen sekä vastaako kojeen mittaustarkkuus mittaustehtävien edellyttämää tarkkuutta. [6, s. 329–331; 12, s. 27–28.]

Seurantakalibroinnin eli kenttäkalibroinnin suorittaa kojeen käyttäjä. Sen tehtävänä on selvittää, pysyvätkö kojeen ominaisuudet ja mittaustarkkuudet samoina kuin ne olivat edellisessä määrityskalibroinnissa. Suorittamalla jonkinasteinen kenttäkalibrointi ennen vaaituksen alkua saadaan parannettua tulosten luotettavuutta. Kenttäkalibroinnin tulokset tulee dokumentoida hyvin, jotta mahdolliset muutokset huomataan ja niihin pystytään reagoimaan. [6, s. 329–331; 12, s. 27–28.]

4 Takymetrimittaukset

4.1 Historia

Takymetri on satelliittimittalaitteiden ohella tärkein maanmittauksessa käytettävä työkalu. Sillä mitataan vaaka- ja pystykulmien lisäksi myös etäisyyttä. Tämän ominaisuuden takia ne yleistyivät 1980-luvulla ja syrjäyttivät pikkuhiljaa teodoliitit eli kulmanmittauskoneet mittaus- ja kartoitustekniikan yleistyökaluna. Takymetrit ovat kehittyneet myöhemmin automatisoiduiksi robottitakymetreiksi. Nykyään useimmat takymetrillä suoritettavat työt on mahdollista suorittaa yksin. [6, s. 223.]

4.2 Takymetri

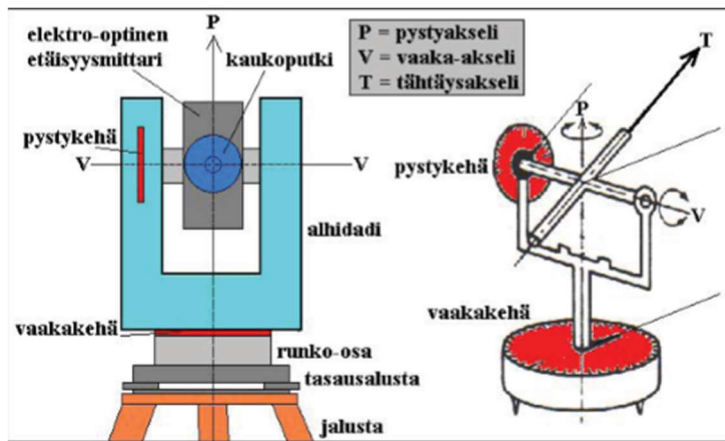
Takymetri on elektroninen kulmien ja etäisyyksien mittauskone. Takymetrissä on irrallinen tasausalusta, jonka jalkaruuvien ja rasiatasaimen avulla koneen tähtäysakseli saadaan asetettua vaakatasoon eli tasattua. Tasausalustassa on myös usein optinen luoti, jonka avulla kone saadaan keskitettyä eli asetettua tarkalleen halutun pisteen päälle. [6, s. 223–225.]

Takymetrin runko-osassa on vaakakulman mittaukseen tarkoitettu vaakakehä. Runko-osa kiinnittyy tasausalustaan. Runko-osan päällä kojeen pysty akselin ympäri pyörivä alhidadi pitää sisällään pystykulmanmittauksen tarkoitetun pystykehän. Alhidadissa on myös optinen luoti. [6 s. 223-225]

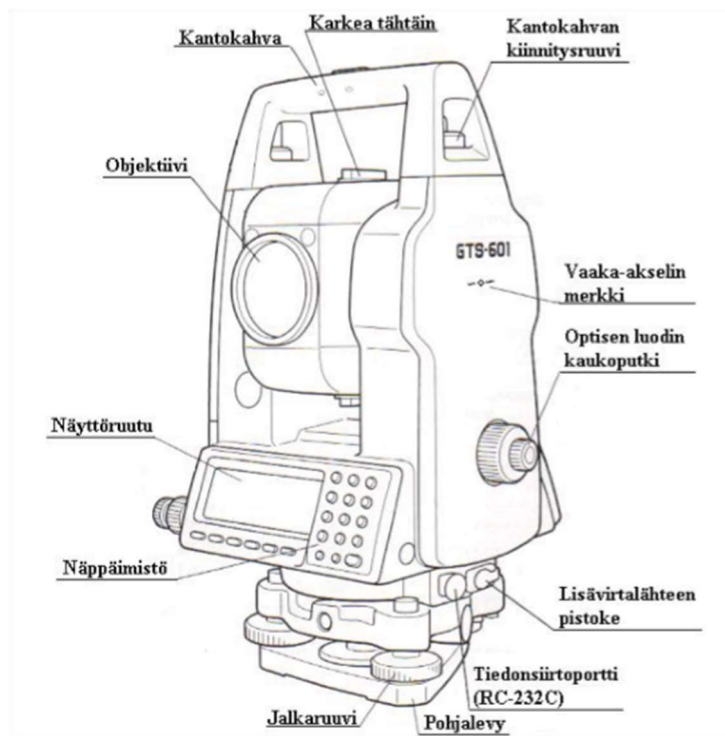
Varsinainen mittauskaukoputki kiinnittyy alhidadiin ja pyörii kojeen vaaka-akselin ympäri. Mittauskaukoputki ja sen ympäristö pitävät sisällään etäisyyden mittaukseen tarkoitetun elektro-optisen etäisyysmittarin. [6, s. 223–225.]

Takymetrissä on myös elektroninen tasain eli kompensattori, jonka avulla koje saadaan asetettua rasiatasaimia tarkemmin vaakatasoon. Kompensaattorin avulla on mahdollista valvoa automaattisesti kojeen asennon pysyvyyttä ja korjata mittaushavaintoja, jos siihen on tarvetta. [6, s. 20–21, 224–225.]

Takymetrin osia on havainnollistettu kuvissa 10 ja 11.



Kuva 10. Takymetrin osat [6, s. 225].



Kuva 11. Takymetrin (Topcon GTS-601) osia [6, s. 226].

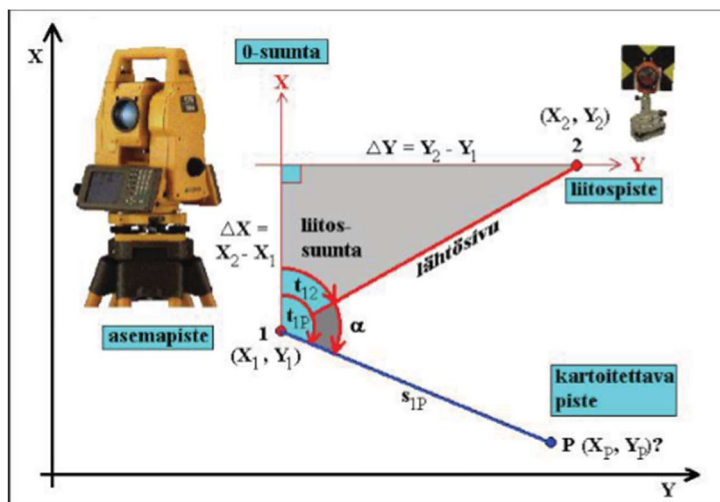
4.3 Takymetrimittaukset

4.3.1 Takymetrin orientointi

Takymetrimittaukset aloitetaan maastossa asettamalla takymetri maahan poljettujen likimain tasattujen puisten kolmijalkojen päälle. Takymetri tasataan ja tarvittaessa keskitetään käyttämällä tasausalustan jalkaruuveja ja optista luotia. [6, s. 238.]

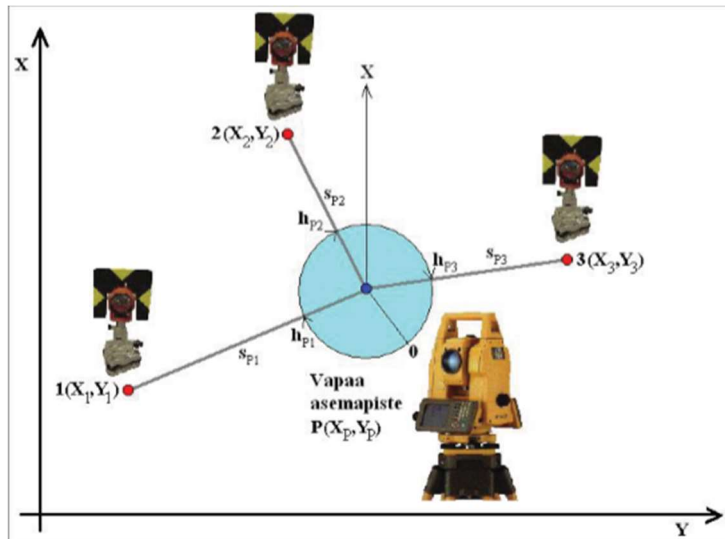
Takymetri orientoidaan haluttuun koordinaatistoon käyttämällä vähintään kahta koordinaateiltaan tunnettua kiintopistettä. Kiintopisteisiin mitattujen suuntien ja etäisyyksien avulla kone saa laskettua kojeaseman koordinaatit. Kun kojeaseman koordinaatit ja tähtäyssuunta tunnetaan, saadaan uusien kartoitettavien pisteiden koordinaatit, kun mitataan niiden suunta ja etäisyys kojeasemaan nähden. [6, s. 238–246.]

Kun kone pystytetään koordinaateiltaan tunnetulle pisteelle, puhutaan tunnetulle pisteelle orientoisesta (kuva 12). Kun kojeaseman koordinaatit jo tunnetaan, riittää orientointiin vain yksi koordinaateiltaan tunnettu piste, jonka avulla koneen tähtäyssuunta saadaan selvitettyä. Tunnetulle pisteelle orientoisessa joudutaan mittaamaan kojekorkeus eli kojeen tähtäysakselin ja kiintopisteen välinen korkeusero. Yleensä tähän käytetään mittanauhaa, minkä vuoksi kyseinen toimenpide on melko epämääräinen, sillä mittanauhalla ei saada mitattua suoraan pystysuoraa etäisyyttä. Tarkoissa mittauksissa kojekorkeuden mittaamisessa edellytetään erityistä huolellisuutta ja siinä pyritään 1 millimetrin tarkkuuteen. Mitattu vinoetäisyys tulee korjata pystysuoraksi etäisyydeksi. [6, s. 242–244.]



Kuva 12. Takymetrin orientointi tunnetulle pisteelle [6, s. 243].

Suurin osa takymetriä orientoinneista tapahtuu kuitenkin vapaille kojeasemille (kuva 13). Tällöin keskistystä ja koje korkeuden mittausta ei tarvita, vaan orientointiin käytetään vähintään kahta koordinaateiltaan tunnettua pistettä. Näihin pisteisiin tehtyjen suunta- ja etäisyysmittausten avulla kone laskee kojeaseman koordinaatit ja tähtäyssuunnan. [6, s. 245–246.]



Kuva 13. Takymetrin orientointi vapaalle pisteelle [6, s. 245].

Kojeaseman määrittämisen tarkkuutta saadaan parannettua käyttämällä orientoinnissa useampaa kiintopistettä. Kiintopisteiden etäisyydet kojeasemasta tulisivat olla mahdollisimman samanpituisia keskenään sekä kartoitettavia pisteitä pidempi. Kun vapaalle pisteelle orientoinnissa käytetään vain kahta kiintopistettä, kojeaseman ja kiintopisteiden välinen kulma tulisi olla lähellä suorakulmaa.

4.3.2 Takymetrimittauksen periaate

Takymetrin kanssa käytetään usein maastotallenninta ja kartoitussauvaa (kuva 14). Kartoitussauva asetetaan sopivan pituiseksi ja sen päähän kiinnitetään prisma. Takymetri lähettää ihmisisilmälle näkymättömän infrapunasäteen, joka heijastuu prismasta takaisin koneeseen. Takymetri mittaa tämän signaalin vaihe-eron, jonka avulla se saa laskettua pisteiden välisen etäisyyden. Kulmanmittaus tapahtuu automaattisesti koneen lukien oman vaaka- ja pystykehänsä. Prismat voidaan myös kiinnittää tasausalustan eli pakko-keskisen avulla kolmijalkoihin, ja näin asettaa ne tarkasti esimerkiksi koordinaateiltaan tunnettujen pisteiden päälle. Etäisyyden mittaukseen voidaan myös käyttää lyhytkestoista valopulssia, jolloin prismaa ei välttämättä tarvita. Nykyisten takymetriä etäisyyden

mittauksen tarkkuus on yleensä 1-5 millimetriä ja kulmien erotuskyky 0,1 milligoonia. [6, s. 228–229, 233-237.]



Kuva 14. Kartoitusprisma ja maastotallennin kiinnitettynä kartoitussauvaan sekä takymetri pystytettynä kolmijalkojen päälle [13].

Käytettävällä prismalla on suuri merkitys takymetrillä suoritettavien mittausten tarkkuuteen. Tarkkuuteen vaikuttaa myös se, kiinnitetäänkö prismat suoraan pisteeseen, asetetaanko se kolmijalkojen avulla tarkasti pisteen päälle vai käytetäänkö apuna kartoitussauvaa. Prismaton mittaus on prisman avulla suoritettua mittausta epätarkempi. Kuvassa 15 on esitettyä erilaisia prismoja. [12, s. 13–14.]



Kuva 15. Erilaisia prismoja. Prismat tarkkuusjärjestyksessä epätarkimmasta tarkimpaan vasemmalta oikealle 360°-prisma (kartoitusmittaukset), pyöröprisma (jonomittaukset), tarkkuusprisma (teollisuudenmittaukset) ja kuutionurkka (teollisuudenmittaukset) [12, s. 14].

Maastotallennin (kuva 16) on erillinen laite, joka on yhteydessä takymetriin (kuva 16) usein bluetoothin tai radion välityksellä. Se sisältää yleensä kaikki mittausohjelmat. Sen avulla voidaan myös hoitaa kaikki tiedonsiirto, sillä kaikki mittaushavainnot tallentuvat maastotallentimen muistiin. [6, s. 229–230.]



Kuva 16. Vasemmalla Trimblen TSC3-maastotallennin [14] ja oikealla Trimblen S6-robotitakyometri [15].

5 Seurantamittaukset

5.1 Tavoite

Seurantamittauksia tehdään, kun halutaan selvittää kohteen, esimerkiksi rakennuksen tai tienpenkan, mahdollinen korkeuden tai tasokoordinaattien muutos. Tällöin kohdetta mittaustyylin nimensä mukaisesti seurataan joko jatkuvasti tai toistamalla mittaus säännöllisin väliajoin. Seurantamittaustapoja on kehitetty monenlaisia, joiden soveltuvuus kyseiseen kohteeseen arvioidaan tarkkuusvaatimusten, tarkkailujakson pituuden ja hintavuuden mukaan. Kun korkeutta halutaan seurata, puhutaan usein painumatarkkailusta. [16, s. 3; 17, s. 37.]

5.2 Seurantamittausten periaate

Seurantamittausten ideana on suorittaa mittaus joka kerta mahdollisimman samalla tavalla. Tämä edellyttää erityistä huolellisuutta mittauksissa sekä mittausten kattavaa raportointia.

Ensimmäistä mittausta kutsutaan alkumittaukseksi tai nollamittaukseksi. Nollamittauksella saadaan siis arvot, joihin muita tulevia mittaustuloksia verrataan. Seuraavia mittauksia kutsutaan varsinaisiksi seurantamittauksiksi, joilla kohteen liike tai muodonmuutos pystytään havaitsemaan. Seurantamittauksia suoritetaan siis aina vähintään kaksi, joista toinen on nollamittaus ja toinen seurantamittaus. Tavallisesti varsinaisia seurantamittauksia suoritetaan kuitenkin useita, jotta liikkeen tai muodonmuutoksen suuruus, nopeus ja suunta pystytään paremmin havaitsemaan.

5.3 Seurantamittausmenetelmät

5.3.1 Geodeettiset menetelmät

Geodeettisillä menetelmillä seurataan pääasiassa maanpäällistä liikettä. Maanalaisen liikkeen havaitsemiseksi otetaan käyttöön esimerkiksi inklinometrit. [18]

Käytettävä mittausmenetelmä valitaan siten, että laatuvaatimuksissa edellytetyt mittaus-tarkkuudet on mahdollista täyttää. Tämä tarkoittaa sitä, että jos mittauksen

tarkkuusvaatimus on 2 ppm, ei mittauksessa voida käyttää laitteita, joiden valmistajien antama tarkkuus on tätä arvoa suurempi. Mittausmenetelmän virhemarginaalin on siis oltava pienempi kuin odotettavissa oleva liike, jotta liike voidaan menetelmän avulla todeta. [18]

Yleisimpiä seurantamittauksissa käytettyjä geodeettisiä menetelmiä ovat tarkkavaaitus, takymetrimittaukset ja satelliittimittaukset. Vähemmän käytettyjä menetelmiä seurantamittauksissa ovat esimerkiksi laserkeilaus ja ilmakuvaus, mutta tarkkuutensa puolesta niiden käyttöä painumatarkkailuissa ei juurikaan harkita. Tasokoordinaattien seuraamisessa laserkeilaus ja ilmakuvaus soveltuvat käyttöön erittäin laajoilla alueilla, esimerkiksi avolouhoksilla.

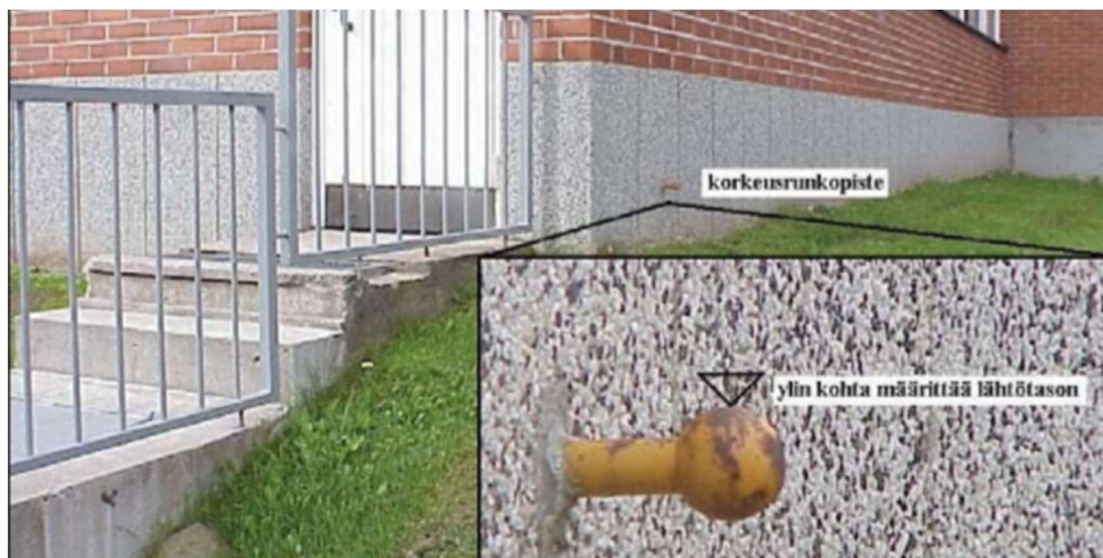
5.3.1.1 Tarkkavaaitus

Tarkkavaaitus on painumatarkkailun tarkin mittausmenetelmä. Sen heikkona puolena on kuitenkin se, että mittaus ei ole jatkuvaa, vaan mittausta joudutaan toistamaan säännöllisin väliajoin. Koska tuloksia ei saada reaaliaikaisesti, ei tarkkavaaitus sovellu nopeasti painuviin kohteisiin. Vaaituksella ei saada myöskään tasokoordinaatteja, joten sen kanssa joudutaan usein käyttämään myös takymetriä. Mittausten toistettavuuden takia seurannan kustannukset myös kasvavat.

Kun painumaseuranta tehdään tarkkavaaitsemalla, se suoritetaan yleensä digitaalisilla vaaituskojeilla niiden tarkkuuden ja automaattisuuden takia. Korkeutta voidaan seurata esimerkiksi vaaitsemalla seurattavaan kohteeseen, kuten vaikkapa rakennuksen sokkeleihin, asetettavien seurantapulttien korkeus. Seurantapultit tulee kiinnittää kunnolla seurattavaan kohteeseen, jotta ne eivät pääse liikkumaan itsestään. Niitä on myös hyvä olla kattavasti koko seurattavalla alueella, jotta koko alueen tilanteesta saadaan kattava kuva. [12, s. 14–15; 17, s. 37.]

Kun seurantamittaus suoritetaan tarkkavaaitsemalla, on lähtö- ja sulkupisteinä käytettävä painumattomana pidettäviä kiintopisteitä. Kiintopisteiden käyttö seurantamittauksissa eroaa normaalista vaaituksesta siinä, että korkeutta ei ole välttämätöntä sitoa valtakunnalliseen korkeusjärjestelmään. Mikäli alueen läheisyydessä ei ole tarpeeksi kiintopisteitä, tulee niitä tehdä itse, jotta vaaitusjonot tai -lenkit eivät kasva tarpeettoman suuriksi. Lähtö- ja sulkupisteitä kannattaa tehdä useita, jotta mittauksessa ei olla yksien

lähtöpisteiden varassa, sillä jotkin pisteet saattavat hävitä ajan myötä, varsinkin rakennustyömailla. Kuvassa 17 on esimerkki hyvästä korkeuskiintopisteestä.



Kuva 17. Esimerkki korkeuskiintopisteestä. [6, s. 9.]

Seurattavalle alueelle tehdään myös riittävä määrä uusia referenssipisteitä. Referenssipisteet eli kontrollipisteet ovat tarkkailtavalle alueelle tai sen läheisyyteen, painumattomaan kohteeseen, kuten kallioon tai paalutettuun rakenteeseen, asennettavia pultteja, joiden avulla mahdollinen painuma voidaan todeta. Kun vaaitustuloksissa seurantapulttien korkeus on muuttunut, mutta referenssipisteiden ei, voidaan painuma todeta. Näiden avulla saadaan siis pienennettyä mahdollisten mittauksissa tapahtuneiden virheiden vaikutusta, eli toisin sanottuna parannettua mittauksien luotettavuutta. Kuvassa 18 on esitettyä referenssipisteeksi soveltuvasta mittauspultista.



Vasemmalta oikealle: messinki, sinkitty teräs, ruostumaton teräs

Kuva 18. Ingeon KKP-pultti ja kiila. Kyseinen pultti sopii erinomaisesti käytettäväksi seurantamittauksissa niin seuranta-, referenssi- kuin lähtöpisteenä. [19]

Niin lähtö- ja sulkupisteissä, referenssipisteissä kuin seurantapulteissakin tulee olla yksiselitteinen kohta, jonka korkeus tai koordinaatit mitataan.

5.3.1.2 Seurantamittaukset takymetrillä

Kun seurantamittaus suoritetaan tarkkavaaitsemalla, ei tasokoordinaattien mahdollista liikettä saada selville. Kun korkeuden lisäksi halutaan selvittää pisteiden tasokoordinaatit, otetaan tarkkavaaituskaluston rinnalle takymetri. Painumaseurantaan tarkoitettut seurantapultit (kuva 19) on usein suunniteltu siten, että niihin on mahdollista kiinnittää prisma, jonka avulla takymetrillä saadaan mitattua pultin tasokoordinaatit.



Kuva 19. Esimerkki seurantapisteestä, jossa prismasovitin. Sovitinosa voi olla myös pysyvästi kohteessa, mutta sitä ei suositella, sillä se voi vaurioitua ja tällöin antaa virheellistä tietoa. Sovitinosan kunto kannattaa aina tarkistaa ennen mittauksen suorittamista.

Korkeus- ja tasokoordinaatteja voidaan seurata myös pelkällä takymetrillä, vaikka se ei tarkkuutensa puolesta vastaakaan tarkkavaaitusta. Esimerkiksi paikoissa, joissa kohteeseen ei saada vaakasuoraa tähtäyslinjaa, on takymetrin käyttö hyvä ratkaisu. Tarkimilla teollisuustakymetreillä voidaan päästä jopa 0,2 millimetrin tarkkuuteen. [12, s. 9–14.]

Nykyaikaisilla robottitakymetreillä voidaan suorittaa jatkuvaa seuranta, jolloin seurattavasta kohteesta saadaan siis jatkuvasti dataa reaaliaikaisesti. Tämä mittausmenetelmä on kuitenkin erittäin kallista. Vartioimatta jäänyt kone on myös altis ilkeille. Virransyöttö voi myös tuottaa hankaluuksia. Mikäli seuranta jatkuu pitkään tulisi koneen kalibrointi tarkastaa, minkä takia kohteen seuraamiseen tarvittaisiin koko ajan kaksi takymetriä, jolloin kustannukset taas nousisivat. Jatkovaa takymetrillä suoritettavaa seuranta ei juurikaan Suomessa ole suoritettu, mutta maailmalla menetelmää on käytetty esimerkiksi avolouhosten seurantaan. [12, s. 11–14; 20, s. 11–12.]

5.3.1.3 Satelliittimittaukset

Satelliittimittaukset suoritetaan yhdellä tai useammalla satelliittimittalaitteella eli satelliitivastaanottimella. Vastaanotin voi laskea esimerkiksi satelliittien lähettämän signaalin aallonpituuden avulla etäisyydet kuhunkin satelliittiin. Kun vastaanottimella on yhteys vähintään neljään satelliittiin, se pystyy laskemaan etäisyyksien avulla itselleen koordinaatit eli oman sijaintinsa. [12, s. 20–22.]

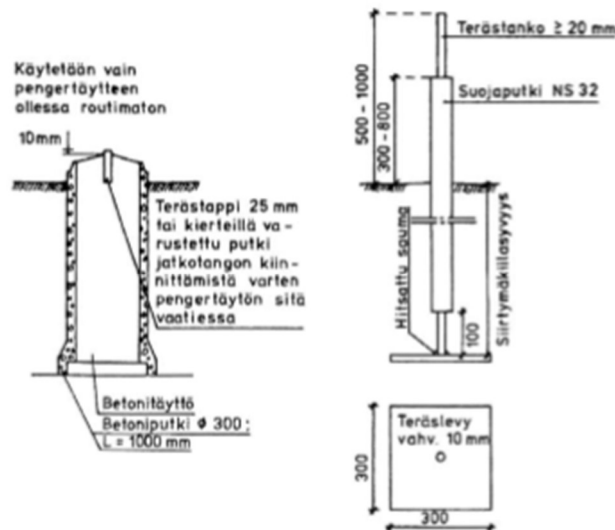
Seurantamittauksia voidaan tehdä satelliitivastaanottimilla kohteissa, joissa painumien tai tasoliikkeiden odotetaan olevan huomattavia, jolloin sen takymetrimittauksia ja tarkkavaaitusta huonommasta tarkkuudesta ei ole haittaa. Tällaisia kohteita on esimerkiksi erilaiset inventaariomittaukset, joissa halutaan selvittää maa-ainekasojen tilavuutta. Satelliittimittauksilla voidaan seurata myös maankuoren liikettä, esimerkiksi maankohoamista. [12, s. 22.]

5.3.1.4 Painumanasta

Kenties yksinkertaisin painumaseurannan mittaustavoista on kiinnittää esimerkiksi tienpintaan nasta tai naula, jonka painumaa seurataan esimerkiksi vaaitsemalla. Mittaustavalla päästään noin 2 millimetrin tarkkuuteen riippuen myös käytettävästä mittalaitteesta. [21, s. 10.]

5.3.1.5 Painumatarkistin

Painumatarkistimia käytetään silloin, kun tärkein haluttava tieto on painuman lakkaaminen. Painumatarkistin (kuva 20) voi olla esimerkiksi maan alle asetettava noin 300 mm halkaisijaltaan oleva teräslevy, josta nousee maanpinnalle metallitanko, jonka pään korkeus esimerkiksi tarkkavaaitaan. [21, s. 8–9.]



Kuva 20. Kaksi erityyppistä painumatarkistinta [21, s. 9].

Painumatarkistimien avulla voidaan ihanteellisissa oloissa päästä noin 1 millimetrin tarkkuuteen. Painumalevyn kallistuminen ja tangon taipuminen vähentää kuitenkin tarkkuutta. [21, s. 8–9.]

5.3.2 Inklinometrit

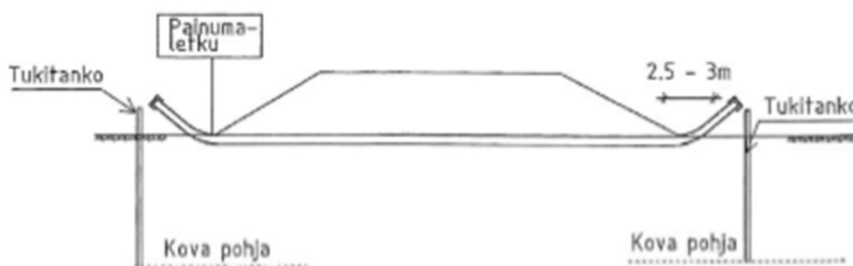
Inklinometrillä voidaan mitata maassa, paalussa tai tukiseinässä olevan putken tai reiän kaltevuus eri syvyyksillä. Inklinometrimittaus tapahtuu joko liikuttamalla kulmanmittausanturia inklinometriputkessa tai asentamalla kiinteitä kallistusantureita putkeen, jolloin puhutaan automaatti-inklinometrimittauksesta. Automaatti-inklinometrimittauksen avulla saadaan jatkuvaa mittausdataa käymättä paikan päällä. Vertaamalla eri mittauskerroilta saatuja taipumaviivoja toisiinsa, saadaan selville putken ja sitä ympäröivän maamassan liike. [18; 21, s. 12–14.]

Putken alapää tulee ulottaa niin syväälle, esimerkiksi kallioon, että sen voidaan katsoa olevan liikkumaton. Putkeen pääsevän veden jäätyminen tulee estää pakkasnestellä. Manuaalisesti mitattavien inklinometriputkien sisähalkaisija on tyypillisesti 50 mm ja automaatti-inklinometriputkien 25 mm. Inklinometrimittaukset tehdään tyypillisesti metrin välein. Automaatti-inklinometreissä tämä edellyttää siis luonnollisesti mittausantureiden asentamista metrin välein. [18; 21, s. 12–14.]

Inklinometrimittauksen tarkkuus on noin 2–5 mm. Tähän pääseminen edellyttää, että putken alapää on tukevasti kalliossa tai pohjamoreenissa. Putken alapään liikkuminen alentaa tarkkuuden 10–30 mm. Käsikäyttöisissä inklinometreissä lämpötilaerot vuodenaikojen välillä lisäävät mittauksen epätarkkuutta. [18; 21, s. 12–14.]

5.3.3 Painumaletku

Painumaletku (kuva 21) voi olla joko pysty- tai, kuten useimmiten, vaakasuoraan maahan asennettava letku. Mittausmenetelmän toiminta perustuu hydrostaattiseen paineeseen. Letku asetetaan tarkasteltavaan kohteeseen, esimerkiksi penkereeseen, ja täytetään nesteellä. Varsinainen mittaus tehdään kiinteillä tai liikuteltavilla antureilla, jotka mittaavat hydrostaattisen paineen kyseisellä kohdalla. Mittauksen tarkkuus on noin 10 mm. [18]



Kuva 21. Vaakasuora painumaletku [21, s. 10].

Painumaletkulla saadaan jatkuva painumakuvaaja poikkileikkauksesta. Letku asetetaan myös molempia päitä lukuun ottamatta maan alle, joten se ei juurikaan häiritse työkohteita tai muuta liikennettä. Menetelmä on myös melko edullinen. Painumaletkut vaurioituvat kuitenkin helposti, eivätkä niiden antamat mittaustulokset ole aina täysin luotettavia. Painumaletkujen rinnalla käytetään usein painumatarkistimia, jolloin saadaan rinnastettavia tuloksia. [18; 21, s. 10.]

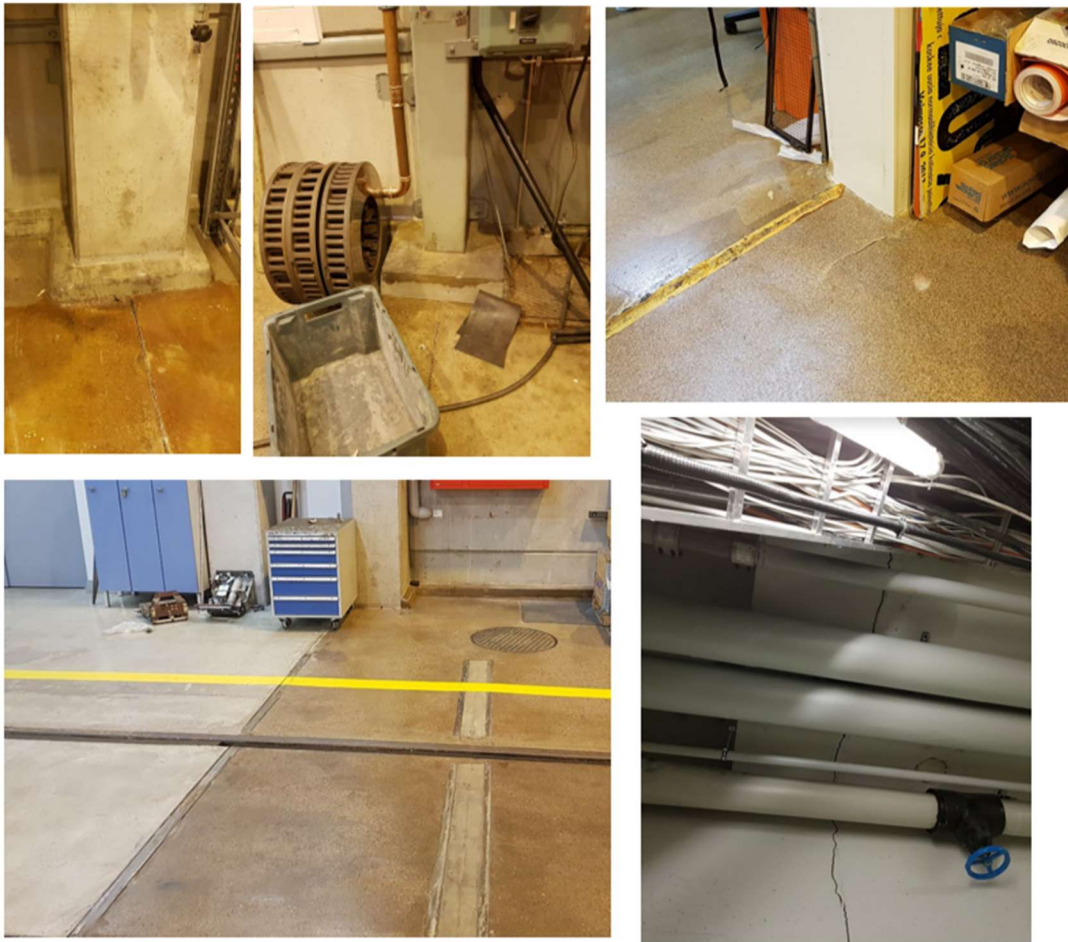
6 Rambollin painumatarkkailuprojekti

6.1 Taustaa

Tarkkailtava kohde on varastohallina toimivan rakennuksen lattia. Alueen maaperä on pääosin märkää silttiä ja savea, joiden päällä on noin 2 metriä tiivistä täyttömaata. Kalliopinta on keskimäärin noin 10 metrin syvyydessä.

Rakennus jakautuu niin sanotusti uuteen ja vanhaan osaan. Uusi osa on kokonaan paalutettu, ja sen katsotaan näin ollen olevan painumaton. Vanhaa osaa on uusittu osissa, ja nämä osat ovat paalutettu. Uusimattomat osat on oletettavasti paalutettu seinien kohdalta, mutta sen lattia sekä kellarikerroksessa olevat ”tunnelikäytävät” ”roikkuvat”. Vanhan osan lattian ja tunnelien on havaittu painuvan merkittävästi. Lattia on vajonnut siten, että se on paikoitellen repeytynyt irti seinäpylväistä ja tunneleissa on paikoittain isoja railoja saumojen kohdilla. Painuminen on ollut tasaista koko lattian alueella. Rakennuksessa tapahtuneet liikkeet ovat olleet suurimmillaan, kun sen osia on remontoitu, ja tällä hetkellä painuman oletetaan olevan hyvin hidasta tai pysähtyneen kokonaan.

Painuman aiheuttamia vaurioita on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Varastorakennusta. Yläkuvista nähdään, kuinka lattia on repeytynyt irti seinäpylväistä ja jatkanut vajoamista. Keskimmaisessä kuvassa lattia on vajonnut noin 55 mm, ja pylvään ja lattian väliin jäänyttä rakoa on jouduttu tukkimaan. Alhaalla vasemmalla nähdään paalutetun ja paaluttamattoman lattian välinen sauma. Alhaalla oikealla on esimerkki tunnelikäytävän railosta. Kuva on otettu ylöspäin.

Alueella ja sen läheisyydessä tehdään lähitulevaisuudessa merkittäviä rakennus- ja kaivutöitä. Näiden töiden voidaan katsoa aiheuttavan kohteelle huomattavan painumavaaran. Tämä vaara on aina olemassa maavaraisissa rakenteissa ja rakennuksissa, ja rakennusmaan alla olevan siltin vetisyys lisää kohteen painumavaaraa. Tämä tarkoittaa sitä, että kun alueella tai sen läheisyydessä kaivetaan silttikerrostumaan asti, tulee tämä maa-aines häiriintymään eli koko maakerros pääsee liikkumaan, kun vain osaakin siitä käsitellään.

Ramboll tekee alueella painumatarkkailun lisäksi pohjatutkimuksia sekä pohjavesipinnan havaintoputkien asennuksia.

6.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on saada selvyys tämän hetken painumatilanteesta sekä seurata sitä kaivuutöiden alettua. Painuman monitoroinnilla pyritään myös ennakoimaan ja ehkäisemään painumisesta aiheutuvia vaaratilanteita.

Kun kohteen painumatilanteesta saadaan tarpeeksi tietoa, voidaan niiden avulla valita kohteelle oikeanlainen korjausmenetelmä.

6.3 Mittausmenetelmän valinta

Rakennuksen lattian osalta seuranta suoritetaan tarkkavaaitsemalla. Koska tasokoordinaatteja ei ole tarpeen mukaista seurata, ei takymetriä tulla varsinaisessa painumaseurannassa käyttämään. Takymetriä voidaan kuitenkin käyttää ensimmäisellä mittauskeralla, jotta uusien lähtö-, referenssi- ja seurantapisteidien tasosijainti saadaan merkittyä kartalle. Tarkkavaaitusta mittausmenetelmänä perustellaan sen tarkkuuden ja nopeuden puolesta.

Tarkkavaaitusta varten on selvitettävä alueella sijaitsevien korkeuskiintopisteiden sijainti ja painumattomuus. Mikäli alueen läheisyydessä ei ole riittävästi lähtöpisteitä, tehdään niitä lisää. Uudet lähtöpisteet on asennettava liikkumattomiksi painumattomaan alustaan, esimerkiksi kallioon tai paalutettuun rakenteeseen. Uusille lähtöpisteille on myös määriteltävä korkeus. Korkeus sidotaan mielellään valtakunnalliseen korkeusjärjestelmään, jotta lähtöpisteitä on mahdollista käyttää myös muihin mittauksiin. Ennen varsinaisia seurantamittauksia suoritetaan vaaituslenkki, jossa jokaiselle lähtöpisteelle vaaitaan korkeus. Tästä mittauksesta laaditaan myös erillinen mittausraportti, josta nähdään, mitä on tehty ja miten ja milloin se on tehty.

Seurantapultteja asennetaan riittävä määrä koko painuvan osan alueelle. Pultit asennetaan siten, että ne eivät tuhoudu eivätkä hankaloita hallissa työskentelyä, mutta myös siten, että ne ovat mahdollisen helposti mitattavissa.

Alueen painumattomaan osaan asennetaan riittävä määrä referenssipisteitä, joita käytetään jokaisessa mittauksessa. Referenssipisteiden avulla saadaan todennettua mahdollinen painuminen varsinaisessa kohteessa. Painuminen voidaan todentaa silloin, kun

seurantapulttien korkeus on muuttunut, mutta referenssipisteiden ei, edellyttäen, että vaaituksen sulkuvirhe on hyväksytyn pieni.

Tunneleiden osalta suoritetaan painumaseuranta myös tarkkavaaitsemalla. Korkeutta ei kuitenkaan tulla sitomaan valtakunnalliseen korkeusjärjestelmään, sillä tunneleihin meno vaaitsemalla on liian hankalaa. Tunneleissa on muutama paalutettu osa, jotka ovat painumattomia. Näihin osiin tehdään omat lähtöpisteet, joita tunneleiden vaaituksessa käytetään.

Alueelle asennetaan myös neljä pohjavedenpinnan havaintoputkea, joiden avulla voidaan mitata pohjavedenpinta ja arvioida sen vaikutuksia tarkkavaaitustuloksiin. Pohjavedenpinta mitataan jokaisesta havaintoputkesta jokaisella tarkkavaaituskerralla.

6.4 Tarkkuusvaatimukset

Tarkkavaaitus suoritetaan soveltuvin osin Maanmittauslaitoksen antamien kaavoitusmittausohjeiden mukaan. Painumaseurannan ero normaaliin tarkkavaaitukseen otetaan kuitenkin huomioon. Suurin huomio tarkkuusvaatimuksissa tulee kiinnittää mittausten toistettavuuteen eli siihen, että mittaukset ovat joka kerta mahdollisimman samanlaisia keskenään. Tällä tavalla saadaan eliminoitua jotkin virhelähteet ja toisaalta sisällytettyä samat virheet mahdollisimman saman suuruisina jokaiseen mittaukseen.

Mittauksessa tulee käyttää vähintään kahta niin sanottua lähtöpistettä. Mikäli mahdollista tulisi mittaus aloittaa ja sulkea samaan pisteeseen eli vaaitus suoritettaisiin lenkinä. Mittaukseen tulee kuitenkin sisällyttää toinen korkeudeltaan tunnettu kiintopiste eli niin sanottu lähtöpiste. Mikäli alkupisteelle on pitkä matka ja sinne palaaminen tarvitsee useamman vaihdon, ei sinne palaaminen ole tarkoituksenmukaista, sillä tällöin mittauksen virhemarginaali kasvaa. Tällöin mittaus suoritetaan jonovaaituksena eli sen lähtö- ja sulkupisteinä käytetään eri pisteitä.

Kaavoitusmittausohjeiden mukaan eteen- ja taaksemittaukset tulisi olla yhden metrin tarkkuudella samat. Seurantamittauksissa yhdeltä kojeasemalta suoritettavien eteen- ja taaksehavaintojen samanpituisuus ei ole niin tarkkaa, kunhan ne ovat jokaisessa mittauksessa samat. Seurantamittauksissa tulee siis käyttää samoja kojeasemia, jotta niistä suoritettavat havainnot ovat joka mittauskerralla yhtä pitkiä. Siten samalta kojeasemalta suoritettavat eteenmittaukset ovat näin joka mittauskerralla yhtä pitkiä keskenään ja

vastaavasti taaksemittaukset samanpituisia keskenään. Seurannassa tulee kuitenkin ongelmia silloin, kun halutulle kojeasemalle ei enää päästäkään. Yli 60 metrin mittausetäisyyksiä ei vaaitukseen saa tulla, sillä tällöin lukeman luotettavuus heikkenee.

6.5 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Tarkkavaaituksen tarkkuuteen vaikuttaa monia tekijöitä. Painumatarkkailussa mitataan kohteen liikettä, ei esimerkiksi todellista korkeutta. Tämän takia esimerkiksi eteen- ja taaksehavaintojen erimittaisuudesta johtuvat virheet eliminoiduvat liikettä seuratessa, kun sama virhe sisällytetään samanlaisena jokaiseen mittaukseen. Tällä tavalla mitattu seurantapisteen korkeus ei siis välttämättä vastaa aivan todellista korkeutta, mutta painumattomassa kohteessa samanlaisesti suoritetuilla toistomittauksilla saadaan teoreettisesti samat korkeudet, kuin jos kojeaseman paikkaa vaihdeltaisiin mittauskertojen välillä siten, että havaintopituudet saataisiin samanmittaisiksi. Kun siis seurantamittaus suoritetaan aina mahdollisimman samalla tavalla, ainoa mittaukseen vaikuttava tekijä on kohteessa tapahtuva liike eli liike, jota nimenomaan halutaan seurata. Tämä ei kuitenkaan tarkoita turhia virheiden ”viljelyä”, vaan alkumittauksissa on pyrittävä virheettömyyteen, jolloin jokainen seurantamittaus on samanlaisena tehtynä myös virheetön.

Käytännössä mikään mittauksista ei ole täysin samanlainen. Erityisellä huolellisuudella ja kattavalla raportoinnilla päästään kuitenkin tarpeeksi samanlaisiin mittauksiin. Kattava raportointi kaikesta mittaukseen vaikuttavista tekijöistä auttaa löytämään selityksiä selvästi toisista mittauksista poikkeaviin mittaustuloksiin.

Yksi tarkkavaaitukseen vaikuttava tekijä on sää. Kovassa auringonpaisteessa tai valaistuksessa kojeen on vaikea lukea lattaa. Tästä syystä varsinkin aurinkoa vastaan lukemista tulee välttää. Toisaalta pimeässäkään ei lattaa voida lukea kaukaa, minkä takia mittausetäisyyksien tulee hämärässä vaaitaessa olla lyhyet. Tästä huolimatta lattamiehellä on hyvä olla mukana taskulamppu, jolla voi näyttää valoa luettavaan osaan latasta.

Lämpötilalla on myös suuri vaikutus mittaustuloksiin. Viivakoodilatan inverteräksestä tehty mitta-asteikko ei ole lämpötilan vaihteluille altis, mutta vaaituskojeen optiset osat ovat lämpötilalle herkkiä. Tästä syystä laitteen tulisi antaa tasaantua mittaushetken ilman lämpötilaan. Myös ilmanpaineella on vaikutusta tarkkavaaituksella saataviin tuloksiin.

Eteen- ja taaksemittausten ei painumatarkkailussa tarvitse olla yhtä pitkiä. Tämä helpottaa vaatusta siinä, että etenkin tasaisella alueella työskennellessä koje- ja vaihtopisteitä tulee vähemmän. Koska mittausten tulee kuitenkin olla samanlaisia, tulee etäisyyksien eripituisuudesta aiheutuva virhe sisällyttää jokaiseen mittaukseen. Tämän takia tulisi jokaisella kerralla käyttää samoja kojeasemia ja vaihtopisteitä sekä pystyttää koje aina samalle korkeudelle. Tämän takia maastoon tulisi myös merkitä kohdat, joihin kojeet pystytetään ja joista korkeutta viedään eteenpäin. Kojeen keskistäminen ei kuitenkaan ole tarpeen, sillä havaintomatkojen eripituisuudesta johtuvan virheen suuruus on tällöin jo vaatimaton. Koj- ja vaihtopisteet tulee olla tukevilla alustoilla esimerkiksi päällystetyillä teillä.

Toistettavuuden takia on myös käytettävä samoja lähtö- ja sulkupisteitä. Mittauksen tulee edetä myös joka kerta samalla tavalla, eli referenssi- ja seurantapisteet tulee mitata joka kerta samassa järjestyksessä. Mittauksen tulisi suorittaa myös joka kerta sama henkilöstö eli niin koneenkäyttäjän kuin lattamiehen tulisi olla joka kerta sama henkilö.

Käytettävät pisteet voivat vaurioitua ja antaa näin virheellisiä tuloksia. Jokaisen pisteen kunto tulisi tarkastaa ennen mittauksen suorittamista. Kuvan 19 kaltainen seurantapiste vähentää pisteiden vaurioitumisesta johtuvia virheitä, koska varsinainen piste on paikassaan vain mittauksen ajan ja se saadaan kierteiden avulla aina samaan kohtaan edellyttäen, että kierteisiin ja reiän pohjalle ei ole päässyt likaa. Vaikka mikään saman sarjan pultti ei ole koskaan täysin samankokoinen, on pulttien välinen mahdollinen kokoero niin pieni, että sen voidaan katsoa olevan merkityksetön. Kierrettävän pultin kunto ja samanlaisuus tulee kuitenkin joka kerta tarkastaa ennen mittauksen suorittamista.

Koska jokainen kone on omanlaisensa eli niissä on omat virheensä, tulee jokaisessa mittauksessa käyttää mahdollisuuksien mukaan samaa konetta. Kone on myös hyvä kalibroida ennen jokaista mittauskertaa eli tehdä niin sanottu kenttäkalibrointi.

Käytettävien mittalaitteiden lisäksi painumaseurannassa tulee vastaan myös geotekniikkaan liittyviä ongelmia. Etenkin pohjavedenpinnalla on huomattava vaikutus maanvaraisien rakenteiden korkeuteen. Tämän takia on tärkeää mitata pohjavedenpinnan korkeus mielellään eri puolilta kohdetta jokaisella mittauskerralla. Tätä varten tulisi seurannan aloituksen yhteydessä asentaa seurattavan alueen läheisyyteen pohjaveden pinnan havaintoputkia, mikäli niitä ei vielä ole.

6.6 Projektin kulku

6.6.1 Alkukokous

Alkukokouksessa tulisi olla läsnä vähintään yksi edustaja jokaisesta projektiin liittyvästä osapuolesta. Kokouksessa käsitellään projektin tausta ja tarkoitus sekä käytettävät mittausmenetelmät. Kokouksessa selvitetään myös tarvittavat pätevyudet ja turvallisuus-koulutukset sekä muut huomionarvoiset asiat.

6.6.2 Maastokatselmus

Maastokatselmus suoritetaan joko alkukokouksen yhteydessä tai erillisenä ajankohtana. Maastokatselmuksessa tutustutaan kohteeseen ja katsotaan minne, minkä tyyppisiä ja miten paljon pisteitä alueelle sijoitetaan. Maastokatselmuksen pohjalta luodaan mittaus-suunnitelma.

6.6.3 Mittaus suunnitelman laatiminen

Mittaus suunnitelma laaditaan maastokatselmuksen perusteella. Mittaus suunnitelma sisältää ainakin käytettävät mittausmenetelmät, suunnitellut seuranta- ja referenssipisteiden paikat, kaikki lähtö- ja sulkupisteet ja vaaitusjärjestyksen eli jonon tai lenkin etene-misen. Mittaus suunnitelma voi sisältää myös kojeasemien ja vaihtopisteiden paikat sekä kojekorkeudet sekä muita mahdollisia määräyksiä, kuten mittajaat ja olosuhteet, joissa mittaus saadaan suorittaa tai joissa sitä ei saada suorittaa. Joskus lopullinen mittaus-suunnitelma laaditaan vasta nollamittauksen yhteydessä, kun nähdään lopullisesti, kuinka pisteet maastoon sijoittuvat.

Tässä projektissa seurattava alue jaetaan lattian osalta kahdeksaan kenttään, siten että yksi kenttä vastaa yhtä seinäpylväiden väliä. Jokaiseen kenttään asennetaan 9 seuran-tapulttia. Tällä tavalla seurattavia pisteitä tulee lattian osalta 72 kappaletta.

Pisteiden paikat on suunniteltu niin, että ne antavat kattavan kuvan kohteesta ja siten, että yhdeltä kojeasemalta on mahdollista mitata kaksi kenttää. Pisteet sijaitsevat kuvan 23 mukaisesti jokaisen pylvään kohdalla lattiassa, pylväiden väleissä ja keskellä lattiaa.



Kuva 23. Periaatteellinen mittapistesijoittelu. Suunnitelmassa tarkkavaaituskoje pystytetään ”tyhjään” kenttään, josta sillä on mahdollista mitata kaksi kenttää.

Koska varastossa on paljon toimintaa ja suuria kalustoja siirretään paikasta toiseen, ei kaikkien pisteiden ja kenttien mittaaminen joka kerralla ole välttämättä mahdollista. Jokaisella mittauskerralla tulisi kokonaisia kenttiä mitata vähintään kaksi kappaletta, jotta saadaan tarpeeksi tuloksia.

Lähtöpisteitä asennetaan neljä kappaletta rakennuksen uuteen osaan siten, että kaksi pistettä on kentän molemmin puolin. Näin seurantamittauksia voidaan tehdä silloinkin, kun jokin lähtöpisteistä on tilapäisesti näkymättömässä. Ennen nollamittausta lähtöpisteille vaaitaan korkeus lähimmiltä korkeuskiintopisteiltä, ja tästä mittauksesta laaditaan erillinen mittausraportti. Korkeus sidotaan N2000-korkeusjärjestelmään. Jokainen nollaja seurantamittaus suoritetaan vaaitusverkkona eli ne suljetaan lähtöpisteeseensä. Verkkoihin sisällytetään kuitenkin mahdollisuuksien mukaan kaikki muutkin lähtöpisteet.

Referenssipisteitä asennetaan sekä rakennuksen uuteen paalutettuun osaan että rakennuksen muihin uusittuihin osiin. Tällä tavalla saadaan varmistettua uusittujen osien painumatilanne. Yhteensä referenssipisteitä asennetaan 12 kappaletta.

Tarkat kojeasemien ja vaihtopisteiden paikat selvitetään nollamittauksen yhteydessä. Sitten nollamittauksessa käytettyjen kojeasemien ja vaihtopisteiden sijainti mitataan sidemitoilla, esimerkiksi pylväisiin, ja merkitään kartalle. Jokainen kojekorkeus tulee myös mitata ja merkitä mittauspöytäkirjaan.

Tunnelien osalta tarkkavaaitus suoritetaan kahtena erillisenä jononmaisena verkkona eli kaksi tunnelikäytävää vaaitaan edestakaisin. Lähtöpisteitä asennetaan kummankin tunnelikäytävän paalutettuun päähän 2 kappaletta ja referenssipisteitä niin ikään 2

kappaletta. Seurantapisteitä asennetaan molempiin käytäviin noin sadan metrin matkalle 10 pistettä tasaisin välimatkoin. Nollamittaus selvittää kojeasemien ja vaihtopisteiden paikat.

6.6.4 Pisteiden ja pohjavesiputkien asennus

Pisteet tulee asentaa liikkumattomiksi kohteeseen nähden, jotta niihin tehdyt mittaukset olisivat luotettavia. Pohjavesiputket asennetaan pystysuoraan vettä läpäisemättömän kerroksen, kuten saven alapuolelle.

Tässä projektissa pisteinä käytetään kuvan 19 mukaisia messinkisiä seinäpisteitä, joissa on kierteet ruuvattavalle pultille. Pulttiosana käytetään kuvan 19 kaltaista ruuvattavaa sovitinta, jossa on prismasovittimen tilalla pallomainen pää.

Seuranta- ja referenssipisteet asennetaan mittaussuunnitelman mukaisesti joko lattian tasoon tai hieman lattiapinnan alapuolelle, jotta ne eivät häiritse muuta hallissa työskentelyä eivätkä vaurioidu esimerkiksi siivouskoneen alle jäämisestä, mutta kuitenkin niin, että mittauksen ajaksi kierteisiin kiinnitettävä seurantapultin pää jää lattiapinnan yläpuolelle, jotta se on mahdollista vaaita eli sen päälle saadaan asetettua latta. Kun mittauksia ei suoriteta, ruuvataan pultin reikään erilliset kierteet, jotta niihin ei pääse likaa.

Lähtöpisteet asennetaan rakennuksen uuteen osaan, joka on paalutettu ja varmasti painumaton. Pisteet kiinnitetään seinäpylväisiin.

Pisteiden asennus suoritetaan poraamalla lattiaan ja pylväisiin reiät kuvan 24 mukaisella Ingeon erikoisporanterällä, jotka täytetään erityisellä massalla, johon messinkipultit painetaan. Massan avulla pisteet saadaan liikkumattomiksi.



Kuva 24. Ingeon erikoisporanterä. Poranterä on yhteensopiva käytettävän messinkipultin kanssa, siten että sen terä on yhtä pitkä ja levennyksen halkaisija sama kuin messinkipultilla. Näin messinkipultin ja reiän pohjan väliin ei jää tilaa.

Pohjavesiputkien paikat mitataan GNSS- eli satelliittilaitteistolla ja materiaaliltaan rautaa olevat putket asennetaan porakonekalustolla kallion pintaan asti eli noin 10 metrin syvyyteen. Asennuksen jälkeen putket huuhdellaan tyhjäksi sinne matkalla kertyneestä maa-aineksesta ja niille tehdään kuntotesti. Kuntotestissä putket täytetään vedellä, minkä jälkeen laskeva vedenpinta mitataan 1, 3, 5 ja 10 minuutin päästä siitä, kun täyttäminen on lopetettu.

6.6.5 Nollamittaus

Nollamittaus eli alkumittaus on ensimmäinen mittaus, jolla seurantapisteille määritetään korkeudet tai koordinaatit. Nollamittauksen suorittaa tulevat seurantamittaukset tekevä henkilöstö. Nollamittauksessa kiinnitetään erityistä huolellisuutta siihen, että mittaus on mahdollisimman helppo toistaa myöhemmin mahdollisimman samanlaisena. Nollamittaus pyritään suorittamaan mittaussuunnitelman mukaisesti, ja mahdolliset poikkeavat tavat merkitään mittauspöytäkirjaan ja ne siirretään mittaussuunnitelmaan. Näin lopullinen mittaussuunnitelma laaditaan vasta nollamittauksen jälkeen. Mikäli painumaseurannan tarkoituksena on tietyn toimenpiteen, esimerkiksi kaivuutöiden, vaikutuksen selvittäminen kohteen painumiseen, täytyy painumaseuranta aloittaa hyvissä ajoin ennen kyseisten toimenpiteiden aloittamista. Näin kohteen liikkeestä saadaan kattava kuva ennen toimenpiteiden aloittamista, ja pystytään havaitsemaan toimenpiteiden vaikutus jo mahdollisesti painuvaan kohteeseen.

Kyseisessä projektissa nollamittauksia suoritetaan mittaussuunnitelman mukaisesti tavallisen yhden sijasta kolme kappaletta sekä lattian että tunneleiden osalta. Näiden mittausten keskiarvot muodostavat varsinaiset vertailuarvot. Nollamittaukset suoritetaan lattian osalta aikataulullisista syistä kahtena peräkkäisenä päivänä siten, että ensimmäisenä päivänä nollamittaus suoritetaan kaksi kertaa ja toisena päivänä kerran. Tunneleiden osalta nollamittaukset suoritetaan saman päivän aikana kolme kertaa. Tällä tavalla tehtynä kohteen mahdollinen painuma ei vielä ehdi juurikaan vaikuttamaan tuloksiin.

6.6.6 Seurantamittaukset

Seurantamittauksia tehdään tilaajan pyyntöjen ja mittaussuunnitelman mukaisesti tietyin yleensä säännöllisin väliajoin. Mittauskertojen tiheyteen vaikuttavat ainakin oletettu painumanopeus ja mittaukseen varattu budjetti sekä seurannan kokonaiskesto. Seurannan kokonaiskesto vaikuttavat ainakin mittausbudjetti ja painuman aiheuttavan tekijän,

kuten kaivuutöiden kesto. Seurantamittauksia tulee suorittaa vielä kaivuutöiden loputtua, jotta painumatilanteesta saadaan kattava kokonaiskäsitys.

Tässä projektissa ensimmäiset seurantamittaukset suoritetaan mittaussuunnitelman mukaisesti 2 viikon kuluttua nollamittauksista. Tämän jälkeen mittaukset suoritetaan kuukauden välein seuraavan 18 kuukauden ajan.

Jokaisen mittauskerran yhteydessä mitataan pohjaveden pinnan korkeus jokaisesta alueelle asennetusta pohjavesiputkesta.

6.6.7 Tulosten analysointi

Jokaista mittaustulosta verrataan aikaisempiin mittaustuloksiin ja niiden poikkeamia analysoidaan. Tulosten analysointi on tärkeää, jotta kohteen painumatilanteesta saadaan selvä kuva. Analysoinnilla voidaan myös havaita virheelliset mittaustulokset. Analysoinnin avulla voidaan myös selvittää tuloksiin vaikuttavia tekijöitä ja sitä kautta parantaa ja kehittää painumatarkkailun toimintaperiaatteita.

7 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli kehittää Ramboll Finland Oy:n tarkkavaaitsemalla suoritettavien seurantamittausten toimintaperiaatetta ja dokumentointia. Oikeanlaisen toimintaperiaatteen löytäminen on vaikeaa, sillä tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä seurantamittauksissa on paljon. Seurantakohteet ovat myös hyvin yksilöllisiä ja tämän takia oikea toimintatapa voi olla erilainen eri kohteissa. Nollamittauksen jälkeen tulee jokainen tuleva mittaus suorittaa mahdollisimman samalla tavalla. Tärkeintä on erityinen huolellisuus ja kattava dokumentointi.

Kun toiminta seurantamittauksissa dokumentoidaan kattavasti, on mittaukseen vaikuttavat tekijät helpommin löydettävissä, ja sitä kautta mittauksen luotettavuus parempi. Kun mittauksen luotettavuus ja tulosten oikeellisuus kohtaavat, saadaan paras lopputulos.

Työssä tehty kuvan 25 mukainen seurantamittauspöytäkirja on alku mittausten kattavalle raportoinnille. Mittaustapojen kehittyessä ja uusien vaikutustekijöiden löytyessä parannetaan ja kehitetään myös pöytäkirjaa ja siihen tehtäviä merkintöjä. Mittauspöytäkirja on erityisen hyvä apu esimerkiksi yksiköiden päälliköille, joilla ei välttämättä ole paljoa tietoa mittaustekniikasta mutta jotka ovat tiiviisti tekemisissä asiakkaiden kanssa. Pöytäkirjan avulla he pystyvät kertomaan asiakkaille, miten kyseinen mittaus on suoritettu.

| SEURANTAMITTAUSPÖYTÄKIRJA | | | | | | RAMBOLL | | | | |
|---|--|---------------|--------------------------|--------------------|-------|-----------------|---|----|--------------------------|--|
| Työnumero | | | | | Pvm | | / | 20 | | |
| Kohde | | | | | | | | | | |
| Koneenkäyttäjä | | | | Lattamies | | | | | | |
| Käytetty kone | | | | | Latta | | | | | |
| Nollamittaus | | | <input type="checkbox"/> | | | Seurantamittaus | | | <input type="checkbox"/> | |
| Sää | | | Lämpötila | | | Ilmanpaine | | | | |
| Kenttäkalibrointi | | | | | | | | | | |
| Lähtöpiste | | | | Sulkupiste | | | | | | |
| Mittaussuunnitelmasta poikkeavat tavat (esim. poisjääneet referenssipisteet, siirretyt kojeasemat ja vaihtopisteet) JA SYYT | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Pohjavesi | | Mitattu putki | | Vesipinnan korkeus | | | | | | |
| | | Mitattu putki | | Vesipinnan korkeus | | | | | | |
| | | Mitattu putki | | Vesipinnan korkeus | | | | | | |
| | | Mitattu putki | | Vesipinnan korkeus | | | | | | |
| | | Mitattu putki | | Vesipinnan korkeus | | | | | | |
| | | Mitattu putki | | Vesipinnan korkeus | | | | | | |
| Muuta huomioitavaa | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Kuva 25. Laadittu seurantamittauspöytäkirja.

Lähteet

- 1 Our history. Ramboll verkkoaineisto. <http://www.ramboll.com/who-we-are/our-history?_ga=2.24780031.455901720.1518788749-2113958591.1518788749> Luettu 16.2.2018
- 2 Ramboll Finland Oy. Ramboll verkkoaineisto. <http://www.ramboll.fi/ramboll_finland_oy> Luettu 16.2.2018
- 3 Foundation and ownership. Ramboll verkkoaineisto. <<http://www.ramboll.com/who-we-are/foundation-ownership>> Luettu 16.2.2018
- 4 Arvot ja historia. Ramboll verkkoaineisto. <http://www.ramboll.fi/ramboll_finland_oy/arvot-ja-historia> Luettu 16.2.2018
- 5 Maastotutkimukset. Ramboll verkkoaineisto. <http://www.ramboll.fi/palvelut/infra_ja_liikenne/geotekniikka/maastotutkimukset-ja-mittaukset> Luettu 7.3.2018
- 6 Laurila Pasi. 2010. Mittaus- ja kartoitusmittauksen perusteet. 3 korjattu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3
- 7 Rinta Matias. 2016. N2000 tarkkavaaitushanke Tuusulan kunnassa. Opinnäyte-työ. Lapin amk
- 8 Level Headed: A Brief History Of Leveling at the National Geodetic Survey. <<https://celebrating200years.noaa.gov/foundations/leveling/welcome.html#early>> Luettu 8.2.2018
- 9 Leica Geosystem verkkosivut <<https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/levels/digital-levels/leica-ls15-and-ls10>> Luettu 9.2.2018
- 10 Geotrim verkkosivut <<https://shop.geotrim.fi/trimble-dini-03-tarkkavaaituskoje.html>> Luettu 9.2.2018
- 11 Kaavoitusmittausohjeet 2003. 2003. Maanmittauslaitos. Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 94.
- 12 Turkki Harri. 2015. Geoteknisen mittaamisen ja monitoroinnin olennaiset käsitteet ja periaatteet. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 13 Leica Geosystems verkkosivut <<https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/total-stations/accessories/poles>> Luettu 14.3.2018
- 14 Geotrim verkkosivut <<https://shop.geotrim.fi/trimble-tsc3.html>> Luettu 14.3.2018

- 15 Geotrim verkkosivut <<https://shop.geotrim.fi/trimble-s6-robottitakymetri.html>> Luettu 14.3.2018
- 16 Onninen Heikki. 2001. Routanousun ja painuman mittaus. Tien pohja- ja päällysrakenteet tutkimusohjelma 1994-2001
- 17 Toroi Sirpa. 2007. Mertakadun koerakenteen seurantamittaukset. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu
- 18 Liikenneviraston verkkosivut <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf2/lisaykset_yleiset_2000-4000.pdf> Luettu 15.2.2018
- 19 Ingeo verkkosivut <<https://www.ingeo.fi/tuotteet.html?id=38/>> Luettu 14.3.2018
- 20 Luomala Heikki. 2010. Ratapenkereiden monitorointi. 22 2010 Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä
- 21 Liikennevirasto. 2011. Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koe-kuormituksen menetelmäkuvaukset. 06 2011 Liikenneviraston ohjeita. 10.3.2011.