

Mittaustyönjohtaminen infratyömaalla

MittausGroup Oy

Nevanperä Riku

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Maanmittausinsinööri

2022

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Riku Nevanperä	Vuosi	2022
Ohjaaja(t)	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	MittausGroup Oy		
Työn nimi	Mittaustyönjohtaminen infratyömaalla		
Sivu- ja liitesivumäärä	59 + 0		

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa kuvaus mitaustyönjohtamiseen infratyömaalla liittyvistä työtehtävistä sekä luoda uusien työntekijöiden perehdyttämiseen sopiva aineisto.

Opinnäytetyössä esiteltiin mitaustyönjohtamiseen infratyömaalla kuuluvia työtehtäviä kronologisessa järjestyksessä sekä niiden tekemiseen liittyviä ohjeita ja seikkoja. Opinnäytetyö keskeiset lähteet, joihin opinnäytetyö perustui, olivat infra-alalla yleisesti käytettäviä virallisia ohjeistuksia ja laadunvarmistusjärjestelmiä. Näihin lähteisiin kuuluivat muun muassa Infra-alan yleiset laatuvaatimukset, Julkisen hallinnon suositukset 184 sekä Väyläviraston aineistoa, kuten Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot mittausohje, Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus sekä Tienrakentamisen mitaussuunnitelman laatimisohje.

Opinnäytetyössä on käyty ensimmäisessä vaiheessa lävitse tehtävän teoreettiset toimintatavat ja vaatimukset. Toisessa vaiheessa osa tehtävistä toteutetaan työmaaoloissa.

Avainsanat

mittaus, infratyömaa, mitaustyönjohtaminen, toteumamittaus

Study Programme in Land Surveying Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Riku Nevanperä	Year	2022
Supervisor	Timo Karppinen		
Commissioned by	MittausGroup Oy		
Subject of thesis	Management of surveying on the infra construction site		
Number of pages	59 + 0		

The aim of this thesis study was to produce description of survey managing on an infra construction site and create document for the orientation of new employees.

The work tasks that are included in surveyor manager assignments in chronological order and introductions in relation to them were discussed. The main information sources that the thesis was based on, were commonly used official introductions and quality assurance documents on infra field. Among these documents were InfraRYL quality assurance system, JHS 184 recommendations and Finnish transport infrastructure agency's material.

The first part of the thesis covers the surveyor manager's assignments in theory. The second part covers the executing of these assignments on an infra construction site.

Key words: Management of surveying, surveying on infra construction site.

Sisällys

1	JOHDANTO	6
2	MITTAUSSUUNNITELMA	7
2.1	Mittaussuunnitelman rakenne	7
3	MITTAUSPERUSTA	9
3.1	Koordinaatisto ja korkeusjärjestelmä	9
3.2	Lähtöpisteet	9
3.3	Mittausperustan rakenne ja pisteluokat	10
3.4	Pisteiden rakentaminen maastoon	10
3.5	Pienet hankkeet	11
3.6	Mittaus ja laskenta	11
3.6.1	Staattinen GNSS-mittaus	11
3.6.2	Laskenta	12
3.6.3	Reaaliaikainen GNSS-mittaus	14
3.6.4	Takymetrimittaus ja vaaitus	15
3.6.5	Laskenta	16
3.7	Suhteellinen tarkkuus	19
3.7.1	Takymetrimittaus ja vaaitus	20
3.8	Laadunvarmistus ja dokumentointi	21
4	MAASTOTIETOJEN HANKINTA	23
5	KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT JA KONEOHJAUSMALLI	25
5.1	Koneohjausjärjestelmä	25
5.2	Koneohjausmalli	25
6	TYÖMAAMITTAUKSET	26
6.1	Leikkaukset, kaivannot ja luiskat	26
6.1.1	Tarkemittaus	26
6.2	Päällysrakenteet	27
6.2.1	Suodatinkerros	27
6.2.2	Jakavakerros	28
6.2.3	Kantavakerros	29
6.2.4	Päällyste	31

6.2.5	Tarkemittaus	32
6.3	Louhinta	33
6.4	Järjestelmät	33
6.4.1	Vesijohto	35
6.4.2	Hulevesi	35
6.4.3	Jätevesiviemäri.....	36
6.4.4	Sähkö- ja telekaapelit	36
6.4.5	Lämpölinjat.....	37
6.4.6	Varusteet.....	37
6.5	Muut rakenteet.....	37
7	KANTAVUUSMITTAUKSET	39
7.1	Levykuormituskoe	40
7.2	Pudotuspainokoe	43
8	AINEISTON KÄSITTELY	45
9	LOPPUTUOTOKSET JA LUOVUTUS	47
10	TOIMINNALLINEN OSUUS	48
10.1	Maastotietojen hankinta.....	48
10.2	Järjestelmän tarkemittaukset	49
10.3	Louhinta.....	49
10.4	Laserkeilaus	50
10.5	Kantavuusmittaukset	51
11	POHDINTA	56
	LÄHTEET	57

ALKUSANAT

Ensimmäisenä haluan kiittää Mikko Sipilää, joka kommentoi opinnäytetyön sisältöä pitkin sen tekoa sekä toimimalla vertaisarviojana. Kiitän myös Lapin ammattikorkeakoulun henkilökuntaa sekä MittausGroupin Pirkanmaan osastoa.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Keruukaivo	Kaivo, jonka tehtävä on kerätä materiaalia, kuten sadetta järjestelmään.
Kova	Haluttua tasoa ylemmäksi jäänyt pinta.
UAV	Miehittämätön ilma-alus

1 JOHDANTO

Mittausala on varsin laaja työtehtäviltään ja työtehtävät eivät välttämättä vastaa toisiaan millään tavalla. Tässä opinnäytetyössä avataan mittaustyönjohtajan työtehtäviin liittyviä asioita infratyömailla. Opinnäytetyössä on käyty lävitse työmaan mittauksen suunnittelusta aina luovutukseen saakka työtehtävät sekä niihin liittyviä vaatimuksia. Tämän työn tavoite on parantaa lukijan ymmärrystä infratyömaalla tapahtuviin mittaustyönjohdollisiin työtehtäviin.

Opinnäytetyön tarkoitus on toimia infratyömaan mittaustyönjohtamiseen perehdyttävänä dokumenttina MittausGroup Oy:ssä. Opinnäytetyö ei pyri korvaamaan lähdetiedostojaan ja sitä ei tule käyttää lähdetiedostojen sijasta, vaan töitä tehdessä on aina käytettävä uusinta versiota tai määrättyä versiota ohjeistuksista ja laatuvaatimuksista.

Opinnäytetyön tilasi MittausGroup Oy. MittausGroup Oy on koko maanlaajuinen mittausalan yritys, joka tarjoaa mittaus- ja konsultointipalveluja.

Aiheiden tietosisältö on rajattu tehtävän laajuuden mukaan siten, että laadunvarmistuksen ja ohjeistuksen rajoittamia tehtäviä on käyty tarkemmin lävitse. Rajauksen painotus on sijoitettu laadunvarmistuksellisiin seikkoihin.

2 MITTAUSSUUNNITELMA

Ennen mittausten aloittamista on laadittava suunnitelma mittauksien toteuttamisesta, joka esitetään tilaajalle. Mittaussuunnitelman tarkoitus on selostaa tilaajalle, kuinka hankkeen mittaukset tullaan toteuttamaan sekä kuinka laadunvarmistus on huomioitu mittauksissa. Näin ollen mittaussuunnitelmasta tulee selvitä tehtävän työn aluerajaukset, käytettävät mittausmenetelmät, kalusto, ohjelmistot, aikataulu, henkilöstö, lähtötiedot sekä laadunvarmistus toimenpiteet (Väylä 2017, 21).

Mittaussuunnitelma sisältää hankkeen mittausperustan perustamisen suunnittelun sekä kaikkien mittausaineistojen keräämiseen sekä luontiin liittyvät seikat. Mittaussuunnitelman laatii hankkeen mittauksista vastaava henkilö. (Buildingsmart 2021, 114.)

2.1 Mittaussuunnitelman rakenne

Mittaussuunnitelma aloitetaan selostusosuudella, jossa esitellään hankkeen yleistietoja. Näihin yleistietoihin sisältyy hankkeen osapuolien selvittäminen sekä toimintapaikka, kuten rakennushankkeen nimi ja sijainti, rakennussuunnittelija, mittaussuunnittelija, mittaussuunnitelmassa käytettävät taso- ja korkeuskoordinaattijärjestelmät sekä mittausperustaan liittyvät tiedot. Jos suunnitelma koskee mittausperustan mittaamista, esitellään lähtöpistetiedot mittausperustan sijasta. (Väylä 2008, 13.)

Mittausperustasta tulee esitellä kaikkien runko- ja käyttöpisteiden pistekortit, luettelo pisteselityskorteista ja pisteselityskortit, luetteloidut koodit ja koordinaatit sekä selvitys kyseisten pisteiden alkuperästä. Myös käytettävä koordinaattijärjestelmä tulee kertoa sekä sen käytön perustelut. Koordinaattijärjestelmän perusteissa tulee koordinaattijärjestelmän valintaa johtaneet syyt perustella. Valittua koordinaattijärjestelmää käytetään koko hankkeen lävitse. (Väylä 2008, 13–14.)

Käytettävät tarkkuus- ja laatuvaatimukset tulee esitellä. Useimmiten nykyaikana käytetään Infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia sekä mittausperustassa JHS 184 suosituksia laadunvalvonnassa.

Mittaussuunnitelma tulee myös esitellä visuaalisesti kartan muodossa. Kartalla tai kartoilla tulee ilmetä hankkeen aluerajaus, jonka sisäpuolelle tulevat uudet kohteet sijoittuvat kuten uudet suunnitellut peruspisteet, käyttöpisteet, ilmakuvausten lentoreitti, ja niin edelleen. Myös alkutietoja, kuten lähtötasopisteet ja korkeuspisteet tulee ilmetä kartoilta. (Väylä 2017, 12.)

Mittaussuunnitelmassa tulee selostaa tehtävät työt yksityiskohtaisesti. Selostuksesta tulee selvittää mitä mittausmenetelmiä mittaukseen käytetään ja kuinka mittaukset suoritetaan. Myös mahdolliset mittauksien vaatimustasoon vaikuttavat tekijät, kuten esimerkiksi mittausperustan perustamisen yhteydessä tehtävät satelliitti geometria selvitykset ja näkymäkartoitukset tulee selvittää mittaussuunnitelmasta. Mittauksen suorittava henkilöstö tulee esitellä, kuten myös mittauksiin käytettävät kalustot ja tekniikat.

3 MITTAUSPERUSTA

Mittausperusta koostuu pysyvistä alueelle rakennetuista kiintopisteistä, joille on geodeettisilla mittauksilla tuotettu korkeus- ja tasokoordinaatit. Mittausperustan avulla työmaa sidotaan valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään. Mittausperustan luonnissa noudatetaan JHS 184 mukaisia ohjeistuksia ja ennen mittausten suorittamista on syytä tutustua tilaajan asettamiin ehtoihin sekä JHS 184-ohjeistukseen. (Väylä 2017, 8.)

3.1 Koordinaatisto ja korkeusjärjestelmä

Mittauksissa käytetään yleiseurooppalaiseen ETRS89 -järjestelmään perustuvaan Suomen realisaatiota EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmää, joka projisoidaan ETRS-GK-projektiona. Suomen alueella on käytössä projektiot GK19-31, jotka ovat nimetty pituuspiirien mukaan. Projektioksi valitaankin yleensä kohteesta katsottuna lähin pituuspiiri, jota käytetään mittauksen keskimeridiaanina. Jos hanke on suurikokoinen ja ylittää usean pituuspiirin ylitse, valitaan yleisesti lähimpänä hankkeen keskustaa oleva pituuspiirin mukaan projektiio. Projektiota voidaan leventää maksimissaan 3 asteen eli pituuspiirin leveydelle, jolloin tulee huolehtia projektion mittakaava korjauksista tehtäviin maastomittauksiin. Korkeusjärjestelmänä Suomessa yleisesti käytetään N2000-järjestelmää. Päätöksen käytettävistä järjestelmistä tekee kuitenkin hanke. (Väylä 2017, 10.)

3.2 Lähtöpisteet

Mittausperustan lähtöpisteinä käytetään valtakunnallisia EUREF-FIN koordinaatistossa olevia E1-E3 -luokan kolmiopisteitä tai E1-E2 jatkuvasti mittausdataa kerääviä pisteitä. Lähtöpisteitä tulee olla vähintään 3 kappaletta ja mitattava mittausperusta tulee jäädä kokonaisuudessaan niistä muodostuvan kuvion sisäpuolelle. Pisteiden tulee olla Maanmittauslaitoksen GNSS -sopivuusluokitukseltaan hyvä tai erinomainen. Lähtöpisteet sitovat mittausperustan valtakunnalliseen verkkoon. (Väylä 2017, 11.)

Korkeusmittauksen lähtöpisteinä on käytettävä 1–3 luokan korkeuspisteitä. Jos alueella ei ole valtakunnallisia korkeuspisteitä, voidaan tilaajan suostumuksella käyttää kunnallisia korkeuspisteitä. (Väylä 2017, 11.)

3.3 Mittausperustan rakenne ja pisteluokat

Mittausperusta koostuu kahdesta pisteluokasta, jotka ovat ylemmän luokan peruspisteet sekä alemman luokan käyttöpisteistä. Peruspisteet tulee olla JHS 184 mukaisia E3–E4 luokan yhdistettyjä taso- sekä korkeuskiintopisteitä, joita tulee sijoittaa työmaalle 1–1,5 kilometrin välein. Alemman luokan käyttöpisteet tulee olla JHS 184 mukaisia E5–E6 luokan pisteitä, joita sijoitetaan 100–400 metrin välein ja pisteeltä tulee olla näköyhteys vierekkäisille pisteille. (Väylä 2017, 12.)

Mittaustyön aikana voidaan tarvittaessa luoda apupisteitä, jotka ovat mittaustyön-aikaisia pisteitä. Apupiste eroaa perus- sekä käyttöpisteistä siten, että niitä ei rakenneta pysyviksi maastoon. Ilmakuvauksia varten tehtävät näkyvöidetyt tukipisteet rakennetaan normaalien pisteen rakennuskäytäntöjä käyttäen. (Väylä 2017, 12.)

3.4 Pisteiden rakentaminen maastoon

Kaikki peruspisteiden mittaukset tulee suorittaa staattista GNSS mittausmenetelmää käyttäen mittaussuunnitelman mukaisesti. Peruspisteet tulee rakentaa maastoon kiinteään rakenteeseen, kallioon tai suureen maakiveen vähintäänkin 50 x 12 millimetrin ankkuroituvalla pultilla. Peruspisteitä saa merkitä maaperään lyötävällä putkella vain erityisessä tapauksessa. Jos maaperään lyötävää putkea on käytettävä, tulee putken olla vähintäänkin 1 metrin pituinen, siinä on oltava ulostyöntyvät haaroitukset, kauluslevy sekä yläpäässä koneruuvikierre. Putki tulee asentaa 5–20 senttimetrin syvyyteen ja se ei saa sijaita ajoradalla tai tieluis-kassa. (Väylä 2017, 12.)

Käyttöpisteiden mittaus voidaan suorittaa staattista GNSS-, reaaliaikaista GNSS- tai takymetrimittausta käyttäen (JHS184 2017, 14). Takymetrimittauksella suori-

tettävissä käyttöpiste mittauksissa tulee mittauksen lähtöpisteinä käyttää peruspisteitä siten, että lopputulokseksi tulee E5 luokan pisteitä (Väylä 2017, 13). Jos käyttöpisteille voidaan varmistaa hyvä satelliittikelpoisuus, voidaan ne mitata käyttämällä reaaliaikaista GNSS-mittausta (Väylä 2017, 13).

3.5 Pienet hankkeet

Pienissä hankkeissa, jossa mittausperustan luominen staattisella GNSS-mittauksella on hankkeen kokoon nähden turhan raskas, voidaan mittausperusta luoda reaaliaikaisella GNSS-mittauksella. Tällöin mittausperusta koostuu E5-E6 luokan käyttöpisteistä. Reaaliaikaisen GNSS-mittauksen käyttöön mittausperustan luonnissa tulee olla tilaajan suostumus ja se on suoritettava JHS 184 suosituksia noudattaen. (Väylä 2017, 13.)

3.6 Mittaus ja laskenta

3.6.1 Staattinen GNSS-mittaus

Staattisessa GNSS-mittauksessa mittaus suoritetaan kahdella tai useammalla staattiseen GNSS-mittaukseen kykenevällä antennilla ja vastaan ottimella. Antennit pystytetään mittaussuunnitelman mukaisten pisteiden päälle kolmijalan ja luotilankojen avulla, jossa ne pidetään koko mittauksen ajan. Mittaus suoritetaan samanaikaisesti kaikilla suunnitelluilla session pisteillä ja mittauksista on suoritettava vähintään yhtäaikaisesti taulukon 1 mukaisesti mitattavasta pisteluokasta riippuen. Sessioiden mittaukset suoritetaan mittaussuunnitelman mukaisesti samalla kirjaten havaintolomakkeeseen mittauksen aikaiset tapahtumat. Mittauksen aikana satelliittigeometriaa kuvaava GDOP-luku tulee olla alle 8. Jos GDOP tai auringon aktiivisuudesta johtuen ionosfäärin aktiivisuus ovat korkeita, kannattaa havainto aikoja pidentää tuloksen parantamiseksi. (JHS 184 2017, 10–11.)

Taulukko 1. GNSS-mittauksen yhtäaikaisen mittauksen vähimmäisajat (JHS 184 2017, 17, 19)

Pisteluokka	Vähimmäinen yhtäaikainen mittaus aika (min)
E3	60
E4	60
E5	30
E6	30

3.6.2 Laskenta

Staattisen GNSS-mittauksen tuloksena kerätään mitattujen pisteiden koordinaatti eroja. Näistä koordinaattieroista muodostetaan vektoreita, joiden avulla mittauksesta luodaan kolmio- tai monikulmaverkko mitattavasta pisteluokasta riippuen. Tämän verkon avulla muodostetaan uusille pisteille koordinaatit verkon vektoreita ja lähtöpisteen tunnettuja koordinaatteja käyttäen. Laskennat on suoritettava antennin kanssa yhteen sopivalla ohjelmalla, joka osaa ottaa huomioon antennin ominaisuudet. (Laurila, P & Heimonen, T 2019, 3.)

Laskenta osuuden ensimmäisessä osassa lasketaan mitatut vektorit sessioittain. Vektorien laskennan jälkeen tarkastetaan mittaustulokset ja mittauksen aikaiset arvot. Tärkeitä tarkasteltavia arvoja ovat PDOP, fix-ratkaisu, satelliittien määrä, epookit, mitatun vektorin pisteet, korkeus- ja tasotarkkuus, vektorin pituus sekä antenni korkeudet. Vektorit, joiden PDOP ja fix-ratkaisu eivät täytä JHS 184 suosituksen asettamia raja-arvoja sekä mittausajaltaan ja epookeiltaan runsaasti alamittaiseksi jääneet mittaukset tulisi poistaa laskennasta tässä vaiheessa. Tässä vaiheessa myös korjataan virheelliset antennikorkeudet ja pistetiedot. (Laurila, P. & Heimonen, T. 2019.)

Kun kaikki sessiot ovat laskettu, tasoitetaan sessiot sessio kohtaisesti vapaan verkon tasoituksella. Vapaan verkon tasoituksessa yhdelle tunnetulle lähtöpisteelle annetaan koordinaatit, jonka mukaan mitattu verkko siirtyy koordinaatissa lähtöpisteen osoittamaan paikkaan. Tämä tehdään sessiokohtaisesti ja tarkoituksena on tarkastaa mittaustyön onnistuminen. (Laurila, P. & Heimonen, T. 2019.)

Ennen koko verkon vapaata tasoitusta on syytä laskea pistesulkuvirheet. Tämä tapahtuu muodostamalla sulkuvirheketjuja, joka sisältää enintään JHS 184 suositusten mukaisen enimmäismäärän pisteitä. (JHS 184 2017, 17.)

Sulkuvirhesilmukkaan valitaan tunnettu lähtöpiste ja mahdollinen kontrollipiste. Silmukka lähtee liikkeelle lähtöpisteeltä, jonka X, Y ja Z koordinaatteihin lisätään seuraavan pisteen vektorilaskennan tuloksena tulleet $X\Delta$, $Y\Delta$ ja $Z\Delta$. Tuloksena saadaan seuraavan pisteen koordinaatit, joihin seuraavaksi liitetään lasketun pisteen ja seuraavan pisteen välisen $X\Delta$, $Y\Delta$ ja $Z\Delta$ vektori tiedot. Myös vektorien pituudet kirjataan ylös laskentataulukkoon. Näin edetään pisteeltä toiselle, kunnes saavutaan takaisin lähtöpisteelle. Saaduista sulkua- ja lähtökoordinaateista lasketaan pistesulkuvirhe. Kun pistesulkuvirhe on laskettu X, Y ja Z koordinaateille, suoritetaan pistesulkuvirhelaskenta 3D-koordinaateille. 3D-pistesulkuvirheestä voidaan laskea suhteellinen tarkkuus. Suhteellista tarkkuutta voidaan käyttää tarkkuuden arvioinnissa, mutta JHS 184 suositukset eivät käytä suhteellista tarkkuutta pistesulkuvirhe arvioinnissa. (Laurila, P. & Heimonen, T. 2019.)

Vektorin pituudet lasketaan lopuksi yhteen, joiden avulla saadaan selville silmukan kokonaispituus, jolle JHS 184 suositukset antavat enimmäispituuden riippuen mitattavien pisteiden pisteluokasta. Taso- ja korkeuspistesulkuvirheestä sekä silmukankokonaispituudesta voidaan laskea suhteellinen tarkkuus. (Laurila, P. & Heimonen, T. 2019.)

Pistesulkuvirheiden laskennan jälkeen suoritetaan koko verkon vapaa tasoitus. Vapaan verkon tasoitus tapahtuu samalla tavalla kuin yksittäisten sessioiden vapaa tasoitus, mutta tällä kertaa sessioiden sijasta käytetään koko mitattua verkkoa. Kiinnitettävä piste tulisi olla lähtö- tai kontrollipisteistä luotetuimmat koordinaatit omaava. Koko verkon vapaa tasoitus paljastaa mittauksen aikana tapahtuneita karkeita virheitä, kuten huolimattoman pystytyksen aiheuttamia epätarkkuuksia tai muun mittauksen aikana tapahtuneen häiriön aiheuttamia epätarkkuuksia. Vapaan verkon tasoituksessa tärkeitä lukuja ovat normaalisoitujen jäännösvirheet sekä sulkuvirheet. Yli 2.8 suuruinen normalisoitu jäännösvirhe viittaa karkeaan virheeseen mittauksessa ja JHS 184 suositukset antavat sulkuvirheelle

25 millimetrin raja-arvon, jonka alle sulkuvirheen tulisi jäädä. (Laurila, P. & Heimonen, T. 2019.)

Viimeiseksi suoritetaan koko verkon tasoitus uudelleen, mutta ylemmän luokan lähtöpisteille ja kontrollipisteille annetaan tunnetut koordinaatit. Tätä kutsutaan pakotetuksi verkon tasoitukseksi. Tässä tasoitus vaiheessa mitattu verkko pakotetaan tunnettujen lähtö- ja kontrollipisteiden avulla niiden määräämään muotoon. Pakotettu verkon tasoitus paljastaa lähtö- ja kontrollipisteiden epätarkkuudet. Koska pakotettu verkon tasoitus muuttaa verkon muotoa, kasvavat verkon normalisoidut jäännösvirheet sekä sulkuvirheet. Pakotetun verkon tasoituksesta saadaan selville kaikkien mitattujen pisteiden uudet koordinaatit sekä niihin liittyvät epävarmuudet. (Laurila, P. & Heimonen, T. 2019.)

3.6.3 Reaaliaikainen GNSS-mittaus

Reaaliaikaisella GNSS-mittauksella suoritettavissa käyttöpistemittauksissa tulee huomioida ympäröivä maasto. Käyttöpisteen mittauksessa ei saa olla 20° korkeammalle ylettyviä esteitä, tukiasema tai tukiasemat tulee sijoittaa hyville havaintopaikoille sekä mittausta kiiltävien pitojen kuten metallikattojen, autojen sekä veden läheisyydessä tulisi välttää. Mittaukset tulee suorittaa enintään 2 metriä korkealla antennin pituudella ja antennin tulee olla tasattuna kolmijalassa tai tuettuna statiivilla sauvassa. (JHS 184 2017, 12–13.)

Mittausta suorittaessa tulee yhteys olla vähintäänkin 5 satelliittiin, mutta suositeltava vähimmäismäärä on 7, jotta mittaustarkkuus ja -luotettavuus voidaan taata. Satelliitti geometria on hyvä tarkastaa etukäteen ennen mittausten suorittamista, jotta voidaan arvioida hyvät mittaus ajankohdat. Mittausten aikana satelliitti geometriaa kuvaava PDOP-arvo tulee pysyä 5 alapuolella. Laitteen tulee olla ratkaisut alkutuntemattomat kokonaisluvuiksi, jolloin laite saavuttaa fix-ratkaisu tilan. Fix-ratkaisussa laite saavuttaa yleensä muutaman senttimetrin mittaustarkkuuden, jota parannetaan mittaus epookkien avulla. Epookki tarkoittaa mittausjakso ja niitä mitataan joka käyttöpisteeltä 5–30. Luotettavuuden ja tarkkuuden paran-

tamiseksi RTK-laite alustetaan ennen jokaista käyttöpisteen mittausta varten uudelleen. Tällöin alkutuntemattomista saadaan toisistaan riippumattomia. Uudelleen alustaminen vie normaalisti noin 40 sekuntia, mutta jos alustusta ei ole saatu 1–2 minuutin kuluessa, tulee alustus aloittaa alusta uudelleen. (JHS 184 2017, 13.)

3.6.4 Takymetrimittaus ja vaaitus

Takymetrimittauksella tehtäviin käyttöpisteiden mittaukseen tulee käyttää kalibroitua kojetta, jonka virheet tunnetaan. Myös käytettävien pakkokeskitysalustojen kalibroinneista on huolehdittava. (JHS 184 2017, 13–14.)

Käyttöpisteiden tasokoordinaattien määrittämiseen takymetrillä tapahtuu kulma- ja etäisyyshavainnoilla jonomittauksilla ja korkeus voidaan mitata trigonometristä menetelmää käyttäen, jos jonovaaitus ei ole työturvallista suorittaa (Väylä 2017, 16). Takymetrimittauksen yhteydessä jokaisesta mittauksesta kirjataan muistiin mittauksen aikaiset sää tiedot, joiden avulla suoritetaan tasoituslaskenta. Tasoituskentää ei suoriteta maastossa, joten ainoastaan alkuperäiset mittaushavainnot tallennetaan. Myös kaikkien prismojen, tähyksien sekä kojeen korkeudet mitataan ja tallennetaan tiedostoon tai havaintolomakkeeseen. (JHS 184 2017, 13–14.)

Trigonometristä menetelmää käytetään, jos työn suorittaminen jonomittauksella vaarantaa työturvallisuuden (Väylä 2017, 14). Tällaisia työturvallisuutta vaarantavia seikkoja ovat esimerkiksi vilkkaat tiet, rataosuudet sekä sää olosuhteiden aiheuttamat muutokset (Väylä 2017, 14).

Jonomittaus aloitetaan pystyttämällä koje kolmijalan ja luotilangan avulla lähtöpisteen päälle sekä prismat tai tähykset vastaavalla menetelmällä lähtösuuntapisteelle sekä ensimmäiselle mitattavalle käyttöpisteelle. Tämän jälkeen mitataan lähtösuuntapiste. Lähtöpiste ja lähtösuuntapisteet ovat vähintään kahta luokkaa ylempiä pisteitä, kuten peruspisteitä. Kun lähtösuunta on mitattu, mitataan ensimmäinen käyttöpiste. Kun kohteet ovat mitattu siirretään koje mitatulle käyttö-

pisteelle, josta suoritetaan vastaavasti eteen ja taakse mittaus. Mittauksessa pyritään suorittamaan kolmijalan keskistys vain kerran pistettä kohden, joten kojetta ja tähyksiä tai prismoja siirretään kolmijaloilta toiselle. Suoritusta toistetaan, kunnes saavutaan sulkupisteelle. Sulkupiste ja sulkusuunta piste ovat myös lähtöpisteen ja lähtösuuntapisteen kaltaisesti kahta luokkaa ylempiä tunnettuja pisteitä. Viimeinen mittaus suoritetaan sulkupisteeltä siten, että ensiksi mitataan viimeinen käyttöpiste ja sen jälkeen sulkusuuntapiste. (Laurila, P. 2012, 349–350.)

Jonomittauksessa voidaan tasokoordinaattien lisäksi pisteelle määrittää trigonometrinen korkeus. Jos mittauksessa määritetään myös korkeus, tulee kojeen ja prismojen tai tähysten korkeus määrittää 1 millimetrin tarkkuudella pisteestä ja tallentaa tiedostoon tai havaintolomakkeeseen. Käytettävillä lähtö- ja sulkupisteillä tulee olla hyväksytyt korkeuskiintopisteen luokitus. Jotta vaadittavaan 10 ppm suhteelliseen arvoon päästäisiin tulee kojeen kulmatarkkuuden olla vähintään 0.5 milligoonia ja mitattava pisteväli tulisi olla alle 150 metriä. Jos mittausvälit kasvavat yli 150 metriin tulee sääolosuhteiden olla hyvät mittaukseen ja huomattavaa ilmanväreily ei saa olla. (Väylä 2017, 14–15.)

Jonovaaitus suoritetaan samaan tapaan, kuin jonomittaus, mutta käyttäen vaaitus tai tarkkavaaitus kojetta. Myös tähykset ja prismat vaihdetaan mittalattoihin, joista voidaan havainnoida pisteiden korkeuserot. Korkeuserot merkataan muistiin vaaitus lomakkeeseen, jonka avulla pisteille lasketaan korot jälkeen päin. Jonovaaituksella voidaan selvittää ainoastaan pisteille korkeuskoordinaatit.

3.6.5 Laskenta

Jonomittauksen laskenta suoritetaan mitattujen kulmien ja etäisyyksien avulla. Ensimmäisen pisteen sijainti selvitetään kahden tunnetun lähtöpisteen avulla, joilla mittaus aloitettiin. Laskenta aloitetaan laskemalla lähtösuuntapisteen lähtökulma, joka selvitetään kaavalla 1. (Laurila, P. 2012, 60.)

$$t_{l_s-l} = \arctan \frac{Y_l - Y_{l_s}}{X_l - X_{l_s}} \quad (1)$$

Missä

T_{l_s-l} on lähtöpisteen lähtökulma

Y_l	on	lähtöpisteen Y-koordinaatti
Y_{ls}	on	lähtösuuntapisteen Y-koordinaatti
X_l	on	lähtöpisteen X-koordinaatti
X_{ls}	on	lähtösuuntapisteen X-koordinaatti

Kyseisen kaavan tarkoitus on orientoida laskettavat suuntakulmat pohjoisakselin mukaiseksi. Kun lähtösuunta on laskettu, lisätään siihen ensimmäisen pisteen ja lähtösuuntapisteen välinen suuntakulma kaavan 2 mukaisesti, jolloin ensimmäisen pisteen suuntakulma saadaan sidottua pohjoisakseliin. Ensimmäisen pisteen ja lähtösuuntapisteen välinen kulma saadaan laskettua kaavalla 3. (Laurila 2012, 60–61.)

$$t_1 = t_{ls-l} + t_{ls-1} \quad (2)$$

Missä

t_1	on	ensimmäisen pisteen suuntakulma
t_{ls-l}	on	lähtöpisteen suuntakulma
t_{ls-1}	on	lähtösuuntapisteen ja ensimmäisen pisteen välinen kulma

$$t_{ls-1} = t_1 - t_{ls} \quad (3)$$

Missä

t_{ls-1}	on	lähtösuuntapisteen ja ensimmäisen pisteen välinen kulma
t_1	on	ensimmäisen pisteen mitattu kulma
t_{ls}	on	lähtösuuntapisteen mitattu kulma

Korkeuskoordinaatin laskentaan käytetään trigonometristä laskentamenetelmää, joka viittaa suorakulmaisen kolmion laskenta menetelmään. Korkeuden laskenta suoritetaan kaavalla 4. (Laurila 2012, 61.)

$$Z_1 = Z_L + v * \cos t_z + i - m \quad (4)$$

Missä

Z_1	on	mitattavan pisteen korkeus
Z_L	on	lähtöpisteen korkeus

v	on	vinomatka
z	on	mittauksenkorkeuskulma
i	on	kojeen korkeus
m	on	tähyksen korkeus

Kaavassa Z_L on lähtöpisteen korko, eli pisteen, jonka päälle koje on pystytetty. Seuraavaksi lasketaan vinomatka v :stä sen korkeuden muutos kertoen se pystykulman t_z :n cosinilla. Viimeiseksi lisätään koje korkeuden ja tähykskorkeuden erotus laskuun ja lopputulokseksi saadaan uuden pisteen korkeus. (Laurila 2012, 61.)

Kun suuntakulma on saatu selvitettyä, suoritetaan etäisyydelle vaadittavat havaintojen korjaukset. Kyseisiin korjauksiin kuulu prismavakion korjaaminen, sääkorjaus sekä karttaprojektion huomioiminen. Prismavakiolla korjataan prisman niin sanottua epäkeskisyyttä, joka tarkoittaa prisman mitattavan pinnan sijaintia prisman akselien nollapisteestä. Prismavakio on merkitty käytettävään prismaan ja se on nimensä mukaan aina vakio samassa prismassa. (Laurila 2012, 330–331.)

Sääkorjauksella pyritään poistamaan mittauksesta säätilan aiheuttamat mittausepävarmuudet. Sääkorjausta varten tulee mittauksen yhteydessä suorittaa lämpötilan ja ilmanpaineen mittaus. (Laurila 2012, 333–334.)

Karttaprojektion huomioinnissa korjataan maapallon kaarevuuden aiheuttamat mittausepävarmuudet. Takymetri mittaa kohteet suorakulmaisessa koordinaatistossa, joten maan kaarevuus huomioidaan korjaus laskennassa. (Laurila 2012, 334.)

Korjauksista prismavakio suoritetaan vinoetäisyyteen, sääkorjaus tasoetäisyyteen ja karttaprojektion huomiointi korkeuteen. Edellä mainitut korjaukset toimivat, kun mittausepävarmuudet pysyvät suhteellisen lyhyinä, mutta esimerkiksi kilometrien mittaukset mittausepävarmuudet vaativat karttaprojektion huomioimista myös tasoetäisyydessä. (Laurila 2012, 334.)

Kun suuntakulmat ovat selvitetty ja etäisyydet korjattu voidaan pisteen uudet koordinaatit laskea kaavan 5 mukaisesti. Korkeus lasketaan kaavalla 4 mukaisesti. Samat toimenpiteet toistetaan, kunnes kaikki pisteet saadaan mitattua sulkupisteelle saakka. Tämän jälkeen suoritetaan sulkuvirheen tarkastelu sekä tasoituslaskenta pienimmän neliösumman periaatetta käyttäen.

$$\begin{cases} X_1 = X_l + s_{l-1} * \cos t_1 \\ Y_1 = Y_l + s_{l-1} * \sin t_1 \end{cases} \quad (5)$$

Missä

X_1	on	pisteen 1 X-koordinaatti
X_l	on	lähtöpisteen X-koordinaatti
Y_1	on	pisteen 1 Y-koordinaatti
Y_l	on	lähtöpisteen Y-koordinaatti
S_{l-1}	on	vaakamatka lähtöpisteen ja 1 pisteen välillä
t_1	on	suuntakulma pohjoisakselista pisteelle 1

Pienimmän neliösumman periaate on tilastomatemattinen menetelmä, jolla saadaan perustellusti mittaustuloksien virhe- ja tarkkuusarvioinnit tehtyä. Sen avulla saadaan selville mittauksessa määritettävien pisteiden koordinaatit sekä niiden jäännösvirheet. Menetelmässä tulee arvioida ja määrittellä a priori, havaintojen keskihajonnat, a priorin varianssikerroin ja painoarvot. Näitä arvoja käytetään toteuman vertailuun. Toteuman vastaavat arvot ovat a posteriori, jäännösvirhe estimoitu varianssikerroin sekä painoyksikön keskivirhe. Tulosten tarkkuus on luotettava, jos toteutunut estimoitu varianssikerroin ei poikkea merkittävästi a prior arvosta sekä keskihajonta ja jäännösvirheet kuvaavat mittausten virheitä ja tarkkuuksia saman kaltaiseksi. Pienimmän neliösumman tasoituslaskenta kannattaa suorittaa siihen pystyvällä tietokoneohjelmistolla. (Laurila 2012, 75–77.)

3.7 Suhteellinen tarkkuus

Väylän työmailla vaaditaan pisteille myös suhteellinen tarkkuus, joiden raja-arvot löytyvät taulukosta 2. Suhteellinen tarkkuus on hyvä työkalu tarkkuuden arvioinnissa, sillä se jakaa tarkkuuden mittauksen etäisyyden mukaan. Tällöin saadaan

lyhyille ja pitkille mittauksille yhteinen tarkkuusarvio, jolla voidaan arvioida mittauksen tarkkuutta mittauksen pituudesta riippumatta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jos JHS 184 suositusten mukaisesti mitattu E6 käyttöpiste on mitattu takymetrillä 100 metrin etäisyydeltä 30 mm tasotarkkuudella ja 40 mm korkeustarkkuudella on käyttöpiste hyväksytty ohjeistuksen mukaan. Tällöin pisteen suhteellinen tarkkuus on 300 ppm tasotarkkuudeltaan ja 400 ppm korkeustarkkuudeltaan, joka puolestaan tarkoittaa pisteen olevan varsin epätarkka. Samalla tarkkuudella mitattu piste 200 metrin päässä saisi tarkkuudeksi 60 mm tasotarkkuuden ja 80 mm korkeustarkkuuden, joka ei täyttäisi JHS 184 suosituksen vaatimuksia.

Taulukko 2. Pisteiden vaatimustaso (Väylä 2017, 11)

Pisteluokka	taso (ppm)	korkeus (ppm)
Peruspisteet	10	10
Käyttöpisteet	20	10
Apupisteet	50	50
Tukipisteet	50	50

3.7.1 Takymetrimittaus ja vaaitus

Korkeuden suhteellinen tarkkuus tulee sulkuvirheen ja mittausetäisyyden osamäärästä. Sulkuvirhe lasketaan kaavalla 6 ja suhteellinen tarkkuus 7. Sulkuvirhe on tunnetun sulkupisteen ja mitatun sulkupisteen erotus. Saatu suhteellinen tarkkuus edustaa koko jonon suhteellista tarkkuutta, joten se on jokaisen jonnossa mitatun pisteen suhteellinen tarkkuus. (Laurila 2012, 225–228.)

$$Sv = H_H - H_T \quad (6)$$

Missä

H_H	on	pisteen mitattu korkeus
H_T	on	pisteen tunnettu korkeus
Sv	on	sulkuvirhe

$$St = \frac{Sv}{s} \quad (7)$$

Missä

St	on	suhteellinen tarkkuus
------	----	-----------------------

Sv	on	sulkuvirhe
S	on	pistejonon pituus

Tasokoordinaattien suhteellinen tarkkuus lasketaan virhe-ellipsien avulla. Käytettyjä virhe-ellipsejä ovat absoluuttinen virhe-ellipsi ja suhteellinen virhe-ellipsi. Absoluuttinen virhe-ellipsi on koordinaattien arvioidut virheet verrattuna virheettömiin lähtöpisteisiin. Suhteellinen virhe-ellipsi, jonka avulla tason suhteellinen tarkkuus määritellään, koostuu pituus mittauksen etäisyyden virheistä sekä poikittaisesta virheestä. Nämä epävarmuudet muodostava virhe-ellipsin puoliakselit. Poikittaisvirhe lasketaan kaavalla 8, jonka avulla voidaan huomata, että virhe-ellipsin kokoon suurin vaikuttava tekijä on etäisyyden mittauksen tarkkuus. Kaavassa 3. poikittaisvirhe on tasoetäisyyden s ja radiaaneina kulmamittauksen keskihajonnan σ tulo. (Laurila 2012, 326–327.)

$$Pv = s\sigma \quad (8)$$

Missä

Pv	on	poikittaisvirhe
s	on	tasoetäisyys
σ	on	kulmamittauksen keskihajonta

3.8 Laadunvarmistus ja dokumentointi

Laadunvarmistukseen oleellisia asioita ovat mittauskaluston kalibrointi todistukset, lähtöpisteiden tarkkuusarviointi, verkon rakenteen tutkiminen, laskennantuloksen arviointi sekä saavutettujen tarkkuuden tunnuslukujen arviointi. Tilaaja suorittaa aineistolle tarkastuksen edellisten kohtien osalta. Jos dokumentointi antaa aiheita epäillä mittausperustan tarkkuutta, voi tilaaja suorittaa tarkastusmittauksia maastossa. Tarkastusmittauksissa tulee käyttää vähintään yhtä tarkkaa kalustoa, kuin alkuperäisissä mittauksissa. (Väylä 2017, 17.)

Mittausperustan perustus tulee dokumentoida. Dokumentoinnin perusteella tulee pystyä suorittamaan kaikki tehdyt laskelmat uudelleen ja varmentamaan ne tarvittaessa. Laaditut dokumentit tulee sisältää havaintolomakkeet, pistekortit, las-

kenta- tai tasoitusraportin sekä selostukset. Myös luotujen pisteiden pisteluokkaan liittyvät ohjeistettujen ja vaadittujen arvojen täytyminen tulee ilmaista. (JHS 2017, 23.)

Jokaisesta pisteestä tulee luoda pistekortti. Pistekortin kortin sisällöstä JHS 184 sanoo seuraavaa: ” *Pistekortissa voidaan esittää muun muassa seuraavat tiedot: pistetunnus ja -nimi, GNSS-sopivuus, sijaintikunta, keskusmerkin tyyppi, pisteen alusta, sidemitat (etäisyys kiinnityskohteesta, korkeusero maanpinnasta ja hakusuunta), suunta- ja varamerkkien tiedot, koordinaattijärjestelmä, tarkkuusluokka ja mittaaja sekä mahdollisesti muuta oleellista tietoa pisteestä.*” (JHS 184 2017, 23.)

4 MAASTOTIETOJEN HANKINTA

Maastotietojen hankinnalla viitataan maastomallin luontiin tarvittavien tietojen hankintaa. Maastomalli luodaan vallitsevien maanmuotojen, olemassa olevien rakenteiden sekä kohteiden selvittämiseksi hankealueella. Maastomalli koostuu luokitelluista pisteistä sekä viivoista, joiden avulla maasto mallinnetaan virtuaaliympäristöön. Malli tulee kartoittaa sitten, että pisteiden välit eivät kasva yli 10 metrin pituisiksi missään kohden mallia. Kohteet luokitellaan niille annetuilla luokanumeroilla sekä pintakoodeilla, jotta kohteet tunnistetaan virtuaaliympäristössä. (Väylä 2017, 20.)

Maastomalleja käytetään hankkeen suunnittelun apuvälineenä, jonka avulla hanke saadaan sovitettua olemassa olevaan ympäristöön, kuten alueella sijaitsevaan tiestöön, rakennuskantaan sekä maastoon. Sen avulla selvitetään myös hankkeen aikana vaadittavat maansiirtotarpeet sekä niihin liittyvät massalaskennat. Tämän vaiheen massalaskennat ovat tarpeen selvittämistä varten, joita verataan myöhemmän vaiheen toteutuneisiin lukuihin.

Maastomallien mittauksessa käytetään yleisesti laserkeilausta, fotogrammetrista mittausta tai maastokartoitusta. Fotogrammetrinen mittaus sekä laserkeilaus vaatii maastoon asetettavia tähyslevyjä, joille määritetään taso- ja korkeuskoordinaatit. Tähyslevyjien avulla mittauksista tulevat pistepilvet saadaan käännettyä haluttuun koordinaatistoon.

Laserkeilaukset ovat nykyaikana jo melko yleisiä ja niillä voidaan suorittaa tarkasti haluttujen kohteiden toteumamittaukset sekä saadaan tuotettua maastotietoaineistoja. Maastotietojen hankinnassa tietoja voidaan kerätä laajoiltakin alueilta, jolloin kauko-ohjattavien UAV keilaimien käyttö voi tulla kysymykseen. Laserkeilauksen tuloksena saadaan pistepilviaineisto, jonka pistetiheys riippuu käytetyistä laitteista sekä asetetuista parametreista.

Laserkeilaamalla saadaan tarkasti ja turvallisesti mitattua yksittäisiä kohteita, kuten seiniä, kallioita ja muita sellaisia. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää maalaserkeilainta, jolla on huomattavasti parempi tarkkuus kuin UAV pohjaisessa keilaimessa (Joala V. 2006 1).

Laserkeilausta suorittaessa on tärkeää huomioida tähyslevyjen sijainnit sekä määrä. Tähyslevyt tulisi sijoittaa tasaisesti mittauksen ympäristöön siten, että mahdollisimman monella tähyksellä ja keilaimella säilyy niin sanottu näköyhteys. Keilaus kannattaa aina ylimäärittää siten, että keilauksessa on aina minimi määrää suurempi määrä tähyksiä. Nämä seikat parantavat keilauksen laatua sekä helpottaa pistepilvien yhdistämistä.

5 KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT JA KONEOHJAUSMALLI

5.1 Koneohjausjärjestelmä

Koneohjausmallit ovat malleja, joita käytetään työmaakoneiden ohjauksen tukena. Mallien käyttöön vaaditaan, että työkoneessa on koneohjausjärjestelmä. Koneohjausjärjestelmät ovat useimmiten GNSS pohjaisia, joten niiden käyttö vaatii yhteyden satelliitteihin. Tästä syystä koneohjausjärjestelmiä ei pystytä käyttämään tunneleissa tai katosten alla. Myös kaupunkien korkeat rakennukset sekä metsien puustot aiheuttavat järjestelmän tarkkuuteen ja yhteyksiin liittyviä ongelmia.

Koneohjausjärjestelmiä hyödynnetään infrarakentamisessa kaivuiden suorittamiseen, kerrosten asentamiseen, kohteiden asentamiseen sekä tarkkeiden ottamiseen. Tarkkeita voidaan koneohjausjärjestelmän avulla ottaa esimerkiksi leikkupinnoista, rakennekerroksista sekä muista kohteista, joihin riittää +/- 2 senttimetrin tarkkuus (Novatron 2022a). Koneohjausjärjestelmien avulla voidaan esimerkiksi välttää työläitä paalutuskepeityksiä, joita käytetään tierakentamisessa tienreunojen ja kerrosten rakentamisessa.

5.2 Koneohjausmalli

Koneohjausmallit ovat viivojen ja pisteiden avulla tehtyjä pintamalleja (Leppänen, S. & Niskala, S. 2016, 29). Pintamallit syötetään koneohjausjärjestelmään, joka ilmoittaa koneenkuljettajalle koneohjausjärjestelmän näyttöpäätteellä kauhan sijaintia annettuun malliin nähden.

Koneohjausmalli voidaan valmistaa mittausdataa käsittelevillä ohjelmistoilla, kuten 3D-win- ja AutoCAD-ohjelmistoilla (Leppänen, S. & Niskala, S. 2016, 29–30). Mallin luodaan hankkeen rakennussuunnitelmien mukaisiksi käyttäen suunnitelmien tietoja lähteenä ja malli tulee tarkastuttaa hankkeen tietomallikoordinaattorilla ennen sen käyttöönottoa (Buildingsmart 2021, 115, 119).

6 TYÖMAAMITTAUKSET

Työmaalla suoritetaan rakennusvaiheessa kohde- sekä tarkemittauksia. Kohteiden mittauksella tarkoitetaan rakennuskohteen sijainnin määrittystä sen rakentamista varten. Tarkemittauksilla dokumentoidaan rakennettujen rakenteiden sijainnit laadunvarmistusta varten.

6.1 Leikkaukset, kaivannot ja luiskat

Leikkauksilla tarkoitetaan maan kaivuuta haluttuun tasoon. Leikkauksen alataso voi määräytyä suunnitelman mukaan tai leikattavan materiaalin mukaan, kuten esimerkiksi pintamaiden leikkauksissa, jossa halutaan poistaa väärän laatuinen materiaali. Leikkausten työmittaukset suoritetaan nykypäivänä pääosin koneohjausmallien ja 3D-kaivuulaitteiden avulla.

Suurien leikkausten ja kaivantojen yhteydessä saattaa tulla ajankohtaiseksi suorittaa seurantamittauksia leikkauksen luiskista tai sen läheisyydessä sijaitsevista rakenteista (InfraRYL 2022a). Seurantamittauksien tarkoitus on tutkia mitattavissa kohteissa tapahtuvia muutoksia, kuten rakennuksien vajoamista leikkauksen tai kaivannon johdosta. Seurantamittaukset suoritetaan takymetrillä, jolla mitataan mitattavaan kohteeseen kiinnitettyjä pisteitä, joille on määritetty koordinaatit ennen leikkauksen suorittamista. Leikkauksen aikana näitä kohteessa olevia pisteitä mitataan määrätyin väliajoin, joiden tuloksia sitten verrataan alkuperäisiin. Jotta mittaustulokset olisivat luotettavia, seurantamittauksen kohdepisteitä ei saa käyttää kojeen orientoinnissa varsinkaan seurantamittauksia tehdessä.

6.1.1 Tarkemittaus

Leikkauksista tulee suorittaa toteumamittauksia, jotta tehty leikkaus saadaan dokumentoitua myöhempää laadunvarmistusta ja massalaskentaa varten. Tarkemittaukset voidaan suorittaa koneohjausjärjestelmän avulla. Tarkkeita otetaan hankkeen suunnitelman ohjeistamalla etäisyyksillä. Etäisyyksissä pisteiden välillä tulee huomioida, että yleensä ilmoitettu etäisyys on suurin sallittu etäisyys

pisteiden välillä. Tarkkeet ovat tärkeä ottaa siten, että pisteet vastaavat mahdollisimman tarkasti mitattavaa pintaa. Tämä tarkoittaa sitä, että leikkauksen pinnan taitekohdat tulee mitata taiteiden kohdalta. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset antavat tarkkuusvaatimuksia leikkauksiin sekä luiskauksiin liittyen, jotka löytyvät taulukosta 3. Taulukon tasotarkkuusvaatimukset ovat tienkeskilinjasta katsottuna, joten positiiviset luvut ovat kauempana keskilinjasta (InfraRYL 2022a). Korkeustarkkuusvaatimukset ovat tavoiteltuun pintaan nähden, joten positiiviset ovat korkeammalla kuin suunnitelma ja negatiiviset suunnitellun alla (InfraRYL 2022a).

Taulukko 3 Leikkauksien ja luiskien sallitut poikkeamat. (InfraRYL 2022a)

Kohde	Tasotarkkuusvaatimus, (mm)	Korkeustarkkuusvaatimus, (mm)
Leikkausluiskien taite	0 – +200	-
Leikkauspohja	-	0 – -50
Yksittäinen poikkeama pohjassa	-	0 – -100
Luiskanpinta	-	50 – -100
Luiskanpinta yksittäiset	-	100 – -200
Ojanpohja	± 150	0 – -100

6.2 Päälysrakenteet

Päälysrakenteet käsittävät pohjamaan tai pengerrystäyteen yläpuolelle sijoituvia rakennekerroksia (Sikiö J 2020). Tiessä yleisesti käytetyt rakennekerrokset ovat suodatin-, jakava-, kantavakerros sekä päällyste. Nämä kerrokset luovat tie-rakenteen lujuuden ja kantavuuden ominaisuudet mahdollistaen rakenteen suunnitelman mukaisen käytön. Rakennekerroksista otetaan hankkeen suunnitelman mukaan kantavuusmittauksia, joiden tekemistä käsitellään tämän opinnäytetyön kohdassa 7.

6.2.1 Suodatinkerros

Suodatinkerros on maaperän ja uuden rakenteen erottava kerros, jonka pääasiallinen tarkoitus on estää uusien rakennekerroksien ja maaperän sekoittuminen keskenään. Suodatinkerros asennetaan jakavan kerroksen alle. Suodatinkerros voi olla joko suodatinkangas tai puhdasta kiviainesta, jossa ei ole epäpuhtauksia

kuten savea tai humusta. Suodatinkerroksen sallitut poikkeamat löytyvät taulukosta 4. (InfraRYL 2022b.)

Taulukko 4 Suodatinkerroksen yläpinna sallitut poikkeamat. (InfraRYL 2022b)

Kohde	Taso	Korkeus
Poikkeama	0–150 mm	
Yksittäinen poikkeama		± 40 mm
Yksittäinen poikkeama 20 m matkalla		50 mm
Poikkeaman keskiarvo		± 20 mm
Kaltevuuden poikkeama		± 1,5 %

Hanke määrittelee mitä mittauksia suodatinkerroksista otetaan. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset vaativat suorittamaan vesipitoisuus mittauksen säteilymittalaitteella keskimäärin 150 metrin välein sekä tiiviysastetta satunnaisesti kullakin ajoradalla 200 metrin säteilylaitemittauksella tai keskimäärin 500 metrin välein tiiveyttä mittaavalla jyrällä ja pistemäisellä varmistusmittauksella. Vaadittavat raja-arvo tulee tarkastaa hankkeen käyttämästä laaduntarkastus järjestelmästä. Edellä mainitut toimenpiteet suoritetaan vain, jos käytetään suodatin kerrosta. Suodatinkangasta levitetään leikkauspohjalle reunat limittäen. (InfraRYL 2022b.)

6.2.2 Jakavakerros

Jakavan kerroksen tarkoitus on jakaa ylempien kerrosten sekä käytön aiheuttama kuormitus suuremmalle pinta-alalle. Jakavassa kerroksessa voidaan käyttää kalliomursketta, soramursketta, luonnon soraa tai kierrätysmateriaaleja. Käytettävän materiaalin ja sen raekoon päättää hanke, mutta yleensä käytetään maksimiraekokoa 63 tai 90 millimetriä. Taulukosta 5 löytyvät jakavan kerroksen sallitut yläpinnan poikkeamat. (InfraRYL 2022c.)

Taulukko 5. Jakavan kerroksen yläpinnan sallitut poikkeamat. (InfraRYL 2022c)

Kohde	Taso	Korkeus
Poikkeama	0–150 mm	
Poikkeaman muutos 20 m	100 mm	30 mm
Yksittäinen poikkeama		± 30 mm
poikkeaman keskiarvo		± 15 mm
kaltevuuden poikkeama		±1,0 %

Jakavan kerroksen kantavuus ja tiiveyssuhde löytyvät taulukoista 6 ja 7 riippuen käytettävästä tekniikasta. Kantavuuskokeet suoritetaan keskimäärin 100 metrin välein kummaltakin ajoradalta mitaten. Jos rakenteessa on mittavälillä johtokaivantoja, tulee joka toinen mittaus suorittaa kaivannon päältä. (InfraRYL 2022c.)

Taulukko 6. Levykuormituskokeen tulokset. (InfraRYL 2022c)

Kantavuus (MPa)	Tiiveyssuhde E2/E1
< 125	≤2,2
125–134	≤2,3
135–144	≤2,4
145–154	≤2,5
155–164	≤2,6
165–174	≤2,7
175–184	≤2,8
≥ 185	≤2,9

Taulukko 7 Pudotuspainokokeen tulokset. (InfraRYL 2022c)

Kantavuus (MPa)	Tiiveyssuhde E2/E1
< 125	≤1,9
125–134	≤2,0
135–144	≤2,1
145–154	≤2,2
155–164	≤2,3
165–174	≤2,4
175–184	≤2,5
≥ 185	≤2,6

6.2.3 Kantavakerros

Kantavakerros asennetaan jakavan kerroksen päälle ja sen käyttö tarkoitus on kantavuuden lisääminen tierakenteessa sekä toimia tiiviinä ja tasaisena pohjana päällysrakenteille. Kantavia kerroksia on kahdenlaisia sitomaton ja sidottu. Sitomaton kantavakerros muodostuu 32–64 millimetrin maksimiraekoon käsittävistä murskeista ja sidottu kerros on ABK31 tai ABK 22 asfalttibetonista. Sitomaton kantavakerros asennetaan tierakenteeseen riippumatta pohjamaan kantavuu-

desta, mutta sidottua ei välttämättä asennetta jokaiseen tierakenteeseen. Kantavan kerroksen sallitut poikkeamat löytyvät taulukosta 8 (InfraRYL 2022d). (Katu 2020 2020.)

Taulukko 8. Kantavan kerroksen yläpinnan sallitut poikkeamat. (InfraRYL 2022d)

Kohde	Taso	Korkeus
Poikkeama	0–150 mm	
Enimmäispoikkeama 20 m matkalla	100 mm	
Yksittäinen poikkeama		± 20 mm
yksittäinen poikkeama 20 m matkalla		20 mm
poikkeaman keskiarvo		± 10 mm
kaltevuuden poikkeama		±0,5 %

Kantavan kerroksen kantavuuden mittaukseen Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset suosittelevat levykuormituskoetta, pudotuspainokoetta, mittaavaa jyrää tai pistemäistä varmistusmittausta. Kantavuus mittaukset tulee suorittaa kaikilta ajokaistoilta keskimäärin 100 metrin välein ja yli 1,5 metrin etäisyydeltä pientareesta. Vaaditut kantavuus ja tiiveyssuhde arvot löytyvät taulukoista 9 ja 10 riippuen käytettävästä tekniikasta. Kantavan kerroksen kantavuus mittaukset suoritetaan sitoutumattoman kerroksen päältä. (InfraRYL 2022d.)

Taulukko 9. Kantavan kerroksen levykuormituskokeen vaatimukset. (InfraRYL 2022d)

Kantavuus (MPa)	Tiiveyssuhde E2/E1
< 145	≤2,0
145–159	≤2,1
160–174	≤2,2
175–189	≤2,3
190–204	≤2,4
205–219	≤2,5
220–234	≤2,6
≥ 235	≤2,7

Taulukko 10. Kantavan kerroksen pudotuspainokokeen vaatimukset. (InfraRYL 2022d)

Kantavuus (MPa)	Tiiviyssuhde E2/E1
< 145	≤1,7
145–159	≤1,8
160–174	≤1,9
175–189	≤2,0
190–204	≤2,1
205–219	≤2,2
220–234	≤2,3
≥ 235	≤2,4

6.2.4 Päälyste

Päälysteitä on monenlaisia ja ne valitaankin kohteen käyttö tarkoituksen perusteella. Raskaasti liikennöidyillä teillä on yleensä asfaltti, vähän liikennöidyillä voi olla sorapinta ja puistoissa ja aukioilla voi olla kiveys. (Sikiö J 2020.)

Asfalttipinnoilta otetaan hankkeen ohjeen mukaisesti tarkkeet. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset vaatii, että jokainen asfaltti kerros tarkemmitataan siten, että sen sijainti, muoto ja paksuus voidaan selvittää. Ennen tarkemmittausta päälysteen pinta tulee olla puhdistettu ja se ei saa olla märkä. Asfaltti pinnan tasaisuus todetaan 3 metriä pitkällä oikolaudalla. (InfraRYL 2022e.)

Sorapintoja tehdään kahdella eri tavalla. Pintauksessa soratien pinta sidotaan liimalla sidotulla murskekerroksella. Toisessa käytetään sitomatonta kulutuskerrosta, jossa kiviaineksesta tehdään kulutuskerros ilman sidosaineita. Tällaisia sitomattomia pintoja valmistetaan kallio-, sora- tai moreenimurskeesta. Murskeeseen voidaan myös sekoittaa savea, jolloin saadaan saviorapäälyste. Taulukosta 11 löytyvät sitomattomien päälysteiden sallitut poikkeamat. (InfraRYL 2022e.)

Taulukko 11. Sitomattoman päällysteen sallitut poikkeamat.

Kohde	Taso	Korkeus
Poikkeama	0-150mm	
Poikkeaman muutos	100 mm / 20 m	
Enimmäispoikkeama 20 metrin matkalla	100mm	
Yksittäinen poikkeama		±20mm
Yksittäinen poikkeaman muutos 20 m matkalla		20mm
Poikkeaman keskiarvo		±10mm
Kaltevuuden poikkeama		±0,5%

Ladottaviin pintarakenteisiin kuuluvat erilaiset betoni- ja luonnonkiviset päällysteet. Betonisiin kiviin kuuluvat betonista valmistetut kivet sekä laatat ja luonnonkiviin kuuluvat sahatut laatat, lohkotut laatat, noppakivet sekä nupukivet. Alueille jonne ladottavia pintoja asennetaan, tulee jättää kiven paksuuden verran lisäksi + 30 millimetriä ± 10 millimetriä työvaraa valmiista pinnasta. Taulukosta 12 löytyvät ladottavien pitojen suurimmat sallitut poikkeamat. Ladottavat pinnat tarkemmitataan niin, että rakenteen muoto pystytään toteamaan tarkkeista. Myös hankkeesta riippuen eri ladontakuvion, kiven värin tai kiven laadun muuttuessa kuvion muutos saumat tarkemmitataan siten, että kuvion muoto käy ilmi tarkkeista. (Infra-RYL 2022e.)

Taulukko 12. Ladottavien pintarakenteiden suurimmat sallitut poikkeamat. (Infra-RYL 2022e)

Kohde	Taso	Korkeus
Sijainnin poikkeama	±20mm	±20mm
Pinnan leveys poikkileikkauksissa ja rakennosien välillä	±50mm	

6.2.5 Tarkemmittaus

Tarkemmittauksia tehdään hankkeiden laadunvarmistuksen takia. Tarkemmittauksista tulee selvittää rakenteen muoto ja sijainti. Jotta rakenteen muoto saataisiin selville tarkkeista, tulee tarkepisteet mitata rakenteen reunoista sekä rakenteen taitteista. Päällysrakenteiden tarkemmittausten enimmäisväli on 20 metriä (Infra-RYL 2022a-e).

6.3 Louhinta

Louhinnassa poistetaan kivimateriaalia kalliosta. Louhintaa voidaan suorittaa monilla eri tekniikoilla, mutta suurissa louhinnoissa käytetään yleisimmin räjähteitä. Ennen louhinnan aloittamista on louhittavalta alueelta puhdistettava kallionpinta puhtaaksi ja se on tehtävä vähintäänkin 1 metrin verran yli teoreettisesta louhintalinjasta (InfraRYL 2022f). Kun kallion pinnat ovat puhdistettu, tulee kallio tarkemmitata sekä merkata louhintasyvyys kallioon porausta varten (Väylä 2021). Tarkemmittauksista tulee pystyä selvittämään kallion pinnan suuripiirteinen muoto sekä taso- ja korkeussijainti. Louhintatöiden jälkeen louhinta pinta tasataan teoreettiseen louhintapintaan, joka tarkemmitataan ja tarkastetaan kovien varalta. Louhintaluokkien toleranssit seinäpinnoille löytyvät taulukosta 13 ja pohjapinnoille 14.

Taulukko 13. Louhintatoleranssit seinäpinnoille (InfraRYL 2022f).

Laatuluokka	Louhintatoleranssi (mm)
Luokka 0	0-100
Luokka 1	0-200
Luokka 2	0-400
Luokka 3	0-600
Luokka 4	Hankekohtainen

Taulukko 14. Louhintatoleranssit pohjapinnoille (InfraRYL 2022f).

Laatuluokka	Louhintatoleranssi (mm)
Luokka 1	0-400
Luokka 2	0-600
Luokka 3	Hankekohtainen

6.4 Järjestelmät

Järjestelmiin kuuluvat tien alle ja tiealueella tulevat järjestelmät. Tien alaisiin järjestelmiin kuuluvat muun muassa vesijohto-, viemäri-, hulevesi-, lämpö- ja kaasulinjat sekä tele- ja sähkökaapeloinnit. Tiealueella tuleviin järjestelmiin kuuluvat muun muassa katuvalot, kaiteet, reunatuet ja niin edelleen. Hulevedessä ja jätevedessä yleisin käytetty putkilinja malli on painovoimaisesti toimiva viettoviemäri, jossa jäte- tai hulevesi liikkuu painovoiman välityksen putkeen luodun kaadon

avulla. Jos viettoviemäri sijaitsee alueella josta, jäte- tai hulevettä ei saada viettämällä johdettua pois, rakennetaan pumppaamo, josta hule- tai jätevesi pumpataan paineputkea pitkin pois. Vesijohto-, kaasu- ja lämpölinjat ovat aina paineputkia. Kaasuputkiin liittyvät mittaukset ovat erikoistytöitä ja ovat karsittu tästä opinäytetyöstä pois.

Putkien materiaalit, ominaisuudet ja toimintatavat voivat erota huomattavasti toisistaan ja nämä seikat voivat aiheuttaa eroavaisuuksia mittausten suorittamisessa. Viettolinjoissa on huomioitava painelinjoja enemmän sijaintiin, korkeuteen ja kaatoon liittyviä seikkoja, sillä sen toiminta on riippuvainen niistä. Taulukosta 15 näkyy linjojen suurimmat sallitut poikkeamat (InfraRYL 2022g). Taulukon 15 linjansuuntainen poikkeama on sallittu ainoastaan kaivoissa, joissa ei ole sivulle lähteviä haaroja (InfraRYL 2022g).

Taulukko 15 Vesijohto-, hulevesi- sekä jätevesijärjestelmien suurimmat sallitut poikkeamat (InfraRYL 2022g).

Kohde	Taso (m)	Korkeus (m)	linjansuuntainen poikkeama (m)	Kaltevuus (‰)
Vesijohto	±0,1	±0,1		
Laitekaivo	±0,1	±0,1		
Hulevesi	±0,1	±0,1		1–1,5
Hulevesi kaivo	±0,2		±0,3	10
Kitakaivo	0–0,1	0–0,1	±0,3	
Viettoviemäri	±0,1			1–1,5
Paineviemäri	±0,1	±0,1		
Jätevesitarkastuskaivokaivo	±0,1		±0,3	10

Sähkö- ja telekaapeleihin sisältyy sähkö-, valaisin-, liikennevalo- ja tietoliikennekaapelit. Kaapelien tarkemittaus vaihtelee paljon hankkeen ja putken tilaajan mukaan. Yleisesti kaapeleista on tehtävä tarkemittaamalla kartta, josta selviää kaapeleiden sijainti taso- ja korkeussuunnassa (InfraRYL 2022j).

6.4.1 Vesijohto

Vesijohdoissa on tärkeää mittauksen kannalta linjan ja siihen liitettävien laitteiden sijainnit. Vesijohto linja kannattaa tarkemmitata linjan ja laitteiden sauma- ja liitoskohtien kohdilta, sillä sauma- ja liitoskohdat ovat mahdollisia vuotokohtia. Hanke voi myös haluta saada tarkemmitat tietyistä kohtaa laitteita. Jotkin vesijohdon osat, kuten supistukset, mutkat, tulpat ja muut osat vaativat tuentaa. Tuennoista on laadittavat yksityiskohtainen tarkepiirustus (InfraRYL g 2022). Vesijohdot tarkemmitataan putken selkäkorkeudesta, ellei hanke toisin määrää. Tarkkeet on sisällettävä sijainti ja korkeustiedot, jotta vesijohtolinjan sijainti ja peittosyvyys voidaan selvittää tarketiedoston avulla.

6.4.2 Hulevesi

Hulevesijärjestelmään kuuluvat yleensä putkilinja, runkokaivot sekä keruukaivot. Hulevesijärjestelmät toimivat pääosin painovoiman avulla, joten niiden tarkemmitauksessa tärkein kohta on vesijuoksu. Kaivoista mitataan jokaisen lähdön vesijuoksu korkeus ja sijainti sekä kaivon kansiston sijainti ja korkeus. Hulevesiviemäriinjan sivupoikkeama suorastalinjasta saa olla enintään 1/300 (InfraRYL 2022g).

Hulevesikaivot asennetaan pystysuoraan ja niiden suurin sallittu poikkeama pystysuunnassa on 10 millimetriä 1 metrin matkalla eli 10 ‰ (InfraRYL 2022g). Keruukaivot, jotka asennetaan reunatuennan lähelle omaavat tarkemman ± 100 millimetrin poikkeaman kohtisuorassa reunatukeen, kuin taulukossa 6.12 esitetty ± 200 millimetriä (InfraRYL 2022g). Kyseisten kaivojen pyöreät kannet tulee olla asennettu reunatuentaan kiinni ja neliskulmaiset kannet enintään 30 millimetrin etäisyydellä reunatuennasta (InfraRYL 2022g). Reunatukilinjaan asennettavat kitakaivot ovat asennettava tukilinjan suuntaisesti taulukon 15 kitakaivon toleranssien mukaisesti (InfraRYL 2022f).

6.4.3 Jätevesiviemäri

Viettoviemärijärjestelmään kuuluvat jätevesiviemärilinja, tarkastuskaivot ja -putket. Viettolinja tulee olla taulukon 15 mukaisesti ja linjassa saa olla 1/300 sivusuuntaista poikkeamaa suorastalinjasta (InfraRYL 2022g). Viettojätevesilinjan tarkemittaukset suoritetaan vesijuoksusta.

Kaivon tarkemittaukset suoritetaan kaivon lähtöjen vesijuoksuista ja kansistosta. Tarkkeissa tulee olla sijainti ja korkeus. Tarkastuskaivot ja -putket tulee olla suorassa ja niissä sallitaan 10 millimetrin kaltevuuspoikkeama 1 metriä kohden (InfraRYL 2022f). Kaivon sijainnissa saa olla taulukon 15 mukaiset poikkeamat (InfraRYL 2022f).

Painejätevesilinjoista otetaan tarkkeet samalla tavalla kuin vesijohdoista, ellei hanke toisin määrää. Paineviemärit alkavat jätevesipumppaamosta, johon viettoviemärit keräävät lähialueiden jätevedet. Pumppaamon tarkkeet otetaan hankkeen ohjeistuksen mukaisesti.

6.4.4 Sähkö- ja telekaapelit

Kaapeleita ja niiden suojaputkia mitattaessa suositellaan tarkkeet otettavaksi 5–20 metrin välein ja kohdissa, jossa kaapelilinja väistää esimerkiksi kiveä 2–5 metrin välein. Kaapelilinjoista on tarkemittattava mahdolliset jatkosten, haaroituksen ja kieppiin paikat. Tarketiedostosta on käytävä ilmi myös kaapeli tyypit sekä kaapelin suojaputkien koot. Taulukosta 16 selviää kaapeliputkien tarkemittauksen toleranssi arvot. Tarkemittaukset tulee suorittaa hankkeen tai tilaajan vaatimalla tavalla. (InfraRYL 2022j.)

Taulukko 16. Sähkö- ja televerkon tarkemittaus toleranssit.

Kohde	Taso haja-asutusalueella (m)	Taso Taajamassa (m)	Korkeus (m)
Televerkko	±0,5	±0,1	±0,1
Sähköverkko	±0,5	±0,1	±0,1

6.4.5 Kaukolämpölinjat

Kaukolämpöputkia mitattaessa kannattaa tarkkeet mitata muiden paineputkien mukaisesti saumakohtilta sekä linjaan tulevista laitteista ja niiden kaivoista. Tärkeistä tulee selvittää linjan ja sen laitteiden taso- ja korkeussijainti (InfraRYL 2022k). Hanke tai tilaaja määrää mitattavat kohteet ja tavat.

6.4.6 Varusteet

Varusteilla tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan tielle asennettavia kohteita, kuten kaiteet, katuvalot, liikennemerkkit, portaalit, reunatuennat ja niin edelleen. Varusteissa on tärkeää todeta, että se on asennettu valmistajan antamien ohjeiden mukainen. Tarkkeet otetaan yleisesti toimintaan vaikuttavien seikkojen kannalta, kuten esimerkkinä reunatuista tarkemitataan reunatuen yläreunat sekä sen näkymän alareuna. Tällöin tarkkeista voidaan todeta reunatuen näkymä kaistan puolelle. Monet varusteet kuten valaisinpylväät ovat tärkeää olla silmämääräisesti suorissa riveissä ja oikein asennettu, joten niistä riittää monesti vain korkeus ja sijainti tiedot valaisinpylvään jalan päältä. Varusteiden tarkkeita mitattaessa on tärkeää olla tietoinen hankkeen käyttämästä laadunvarmistusjärjestelmästä ja sen ja hankkeen määräämistä ehdoista kyseisen kohteen tarkemittamiseen.

6.5 Muut rakenteet

Muut rakenteet käsittelevät perustus-, tuki- ja ympäristörakenteisiin liittyviä kohteita. Näihin kuuluvat siirtymälaatat, tukimuurit ja -seinät, ja meluseinät. Rakenteiden suurimmat sallitut poikkeamat löytyvät taulukosta 17. Taulukkoon on kerätty yleisemmin käytetyt poikkeama rajat ja se ei sisällä erikoisluokkien tai -vaatimuksen mukaisia arvoja.

Betonisissa rakenteissa, jotka valetaan paikan päällä on tärkeää pystyä toteamaan laatan paksuus, muoto, sijainti ja korkeustiedot tarketiedostosta. Tukimuurista on otettava vähintäänkin 20 metrin välein kolme tarkemittaa, mutta hanke määrittelee tukimuurin tarkkeiden mittauspisteiden sijainnit ja tiheyden sekä mit-

taustekniikan. Tarketiedostosta on käytävä ilmi tukimuurin sijainti ja korkeus tiedot. Taulukossa 17 käytetty tukimuurin korkeus ± 5 millimetriä viittaa vierekkäisten osien suurimpaan sallittuun korkeuseroon eli hammastukseen ja luokka 2 viittaa yleisesti käytössä olevaan luokkaan. (InfraRYL 2022h.)

Taulukon 17 meluseinän sijainti poikkeamat ovat kaupungissa käytetty ± 50 sekä maantiellä käytetty ± 100 (InfraRYL 2022i). Meluseinissä on paljon materiaaliin ja sijaintiin liittyviä rajoituksia tarkkuuteen, jotka tulee huomioida (InfraRYL 2022i). Meluseinien tarkkuus ja tarkemittauksiin liittyvät seikat tulisi tarkastaa hankkeen suunnitelmista.

Taulukko 17. Muiden rakenteiden suurimmat sallitut poikkeamat.

Kohde	Taso (mm)	Korkeus (mm)	Pystysuoruus
Paikallaan valettu betonilaatta	50	-20-+50	
Tukimuuri luokka 2	± 20	± 5	h/300
Meluseinä	$\pm 50/\pm 100$	0-+50	h/300

7 KANTAVUUSMITTAUKSET

Kantavuudella on kaksi eri määritelmää riippuen missä yhteydessä sitä käytetään. Geoteknisesti kantavuus kuvaa kantokykyä eli kuormaa, jonka maapohja kykenee kestämaan murtumatta. Tienrakennuksessa kantavuudella tarkoitetaan rakenteen kokonaisjäykkyyttä. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011)

Kantavuusmittauksissa selvitetään rakenteen kokonaisjäykkyys, jonka avulla voidaan tarkastella rakenteen kykyä kestää kuormitusta. Kantavuuden lukuarvo kuvaa rakenteen kykyä palautua muodonmuutoksesta, vaikka sitä käytetäänkin epäsuorana mittarina mitatessa rakenteen kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia. Tämä tekniikka on osoittautunut käyttökelpoiseksi luonnonmateriaaleilla rakennetuissa rakenteissa. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011)

Kantavuudella tarkoitetaan koko rakenteen jäykkyyttä, joka syntyy jokaisen rakenneosan keskimääräisestä jäykkyydestä. Rakenneosia on käyty lävitse kerrokset osassa tässä opinnäytetyössä. Kantavuus ei myöskään kerro rakenteen tiiveyden tilasta. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011)

Kantavuuden lukuarvo lasketaan käyttämällä ympyränmuotoisen kuormitetun levyn keskipisteen painumamallia, jonka esitteli ranskalainen matemaatikko Joseph Boussinesq. Mallissa lasketaan ympyränmuotoisen levyn painuma kaavan 9 mukaan. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011)

$$s = r(1 - u^2) * \frac{p*a}{E} \quad (9)$$

missä

s on painuma [mm]

r on kerroin, joka on jäykässä levyssä $\pi/2$ ja taipuisassa 2

u	on	poisson-luku
p	on	kuormitus [kN/m ²]
a	on	kuormituslevyn säde [m]
E	on	kimmoisuusmoduuli [MPa]

7.1 Levykuormituskoe

Levykuormituskokeessa kuormitetaan teräslevyä, jonka painumista mitataan 10 kN välein, kunnes 60 kN maksimikuorma on saavutettu. Jotta 60 kN kuormitukseen päästäisiin, vaatii mittausmenetelmä vastapainon. Vastapainon koko laskeaan kaavalla 10, mutta Suomen leveyspiirillä vastapainon tulee olla yli 6116,21 kg, jotta 60 kN kuormaan päästäisiin (Taulukot 2022). Teräslevyä varten tasataan tarvittaessa tasaushiekkää käyttäen paikka niin että levy on tasaisesti mittauspintaa vasten. Levyn päälle asennetaan hydraulinen tunkki, jolla kuorman määrän nostaminen onnistuu vaiheittain. Asetelmaan vielä lisätään itsenäisesti seisova tuki, johon sijoitetaan mittauskello, jolla levyn painumaa mitataan. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

$$m = \frac{f}{g} \quad (10)$$

Missä

m	on	massa [kg]
f	on	voima [kN]
g	on	gravitaatio vakio [m/s ²]

Kun mittauskalusto on koottu ja asennettu paikalleen, esikuormitetaan levyä 3,5 kilo Newtonin voimalla. Jos hydraulisen tunkin mittari ilmoittaa paineen baareina, saadaan Newtonit muunnettua baareiksi kaavalla 11 ja 12 (Taulukot 2022). Hetken kuluttua esikuormitus poistetaan ja mittari nollataan. Tämän jälkeen kuormitusta nostetaan 10 kilo Newtonin verran ja merkataan mittakellon luku muistiin, kun rakenteen painuma on hidastunut alle 0,01 millimetriin minuutissa. Tämä vaihe toistetaan, kunnes päästään 60 kilo Newtonin kuormitukseen. Kun maksimikuorma on saavutettu, aloitetaan toinen nosto kierros laskemalla kuorma 0 k

ilo Newtoniin ja merkkäämällä mittakellon hidastuttua alle 0,01 millimetriä minuutissa, sen lukema muistiin. Toisella nostokierroksella toimitaan ensimmäisen kierroksen tavoin, kunnes maksimikuormaan päästää ja mittausvaihe on valmis. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

$$A = (a^2) * \pi \quad (11)$$

Missä

A	on	kuormituslevyn pinta-ala [m ²]
a	on	kuormituslevyn säde [m]
π	on	pii

$$P = \frac{f}{\frac{A}{100000}} \quad (12)$$

Missä

P	on	paine [bar]
f	on	voima [kN]
A	on	kuormituslevyn pinta-ala [m ²]

Levykuormituskokeen vaikutus yltää vajaaseen metrin syvyyteen rakennekerroksista riippuen. Metriä syvemmillä olevat kerroksetkin painuvat, mutta vaikutukset eivät vaikuta tulokseen merkittävästi. Tämä siis tarkoittaa, että matalissa rakennekerroksissa pohjamaan ominaisuudet voivat vaikuttaa tulokseen. Kunnossa olevilla mittauslaitteistoilla tulisi pystyä mittaamaan ± 5–10 MN/m² tarkkuudella. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

Tulosten analysoinnissa tärkeitä arvoja ovat muodonmuutosmoduulit, joita merkitään E₁ ja E₂ merkein alaindeksin merkatessa mittauskierrosta. Muodonmuutosmoduuli lasketaan kaavalla 13 ja kertoimen k-arvo kaavalla 14. Maksimikuormituksen analysoinnissa katsotaan E₂ arvoa, jonka tulee ylittää sille annettu laatuvaatimus raja. Ensimmäisen ja toisen mittauskierroksen muodonmuutosmoduuleista lasketaan tiiveyssuhde, joka lasketaan kaavalla 15. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

$$E = k * \frac{p*a}{s} \quad (13)$$

Missä

E	on	muodonmuutosmoduuli [MPa]
k	on	kertoimen k-arvo
p	on	kosketuspaine [kN/m ²]
a	on	kuormituslevyn säde [m]
s	on	painuma [mm]

$$k = r(1 - u^2) \quad (14)$$

Missä

k	on	kertoimen k-arvo
r	on	kerroin, joka on jäykässä levyssä $\pi/2$ ja taipuisassa 2
u	on	poisson-luku

$$\frac{E_2}{E_1} \quad (15)$$

Missä

E ₁	on	ensimmäisen mittauskierroksen kimmoisuusmoduuli
E ₂	on	toisen mittauskierroksen kimmoisuusmoduuli

Infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia käytettäessä otetaan mittaustulok-
sista kantavuus 30 % ja 70 % kuormitusväliltä. Tällä pyritään poistamaan mit-
tauksen alkuvaiheen mahdolliset häiriöt sekä loppuvaiheen mahdollinen raken-
teen kimmoisuuden ylitys. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmi-
kolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

$$E = 1,5 * 15 * \frac{(a-b)}{(c-d)} \quad (16)$$

Missä

E	on	kimmoisuusmoduuli
a	on	70 % mittauksen kuormitus [kPa]
b	on	30 % mittauksen kuormitus [kPa]
c	on	70 % mittauksen painuma [mm/100]
d	on	30 % mittauksen painuma [mm/100]

7.2 Pudotuspainokoe

Pudotuspainokokeessa kantavuusmittaukset tapahtuvat mittaamalla pudotetun painon aiheuttamaa rakenteen painumaa kiihtyvyyssantureilla sekä geofoneilla. Koe levyn keskipisteen mittaamisen lisäksi mitataan myös levyn reunojen painumaa, sillä niiden avulla voidaan määrittellä taipumasuppilo. Taipumasuppilon avulla pystytään takaisinlaskemaan erikerroksien jäykkyydet. Mittausmenetelmä ei vaadi erillistä vastapainoa ja se on levykuormituskokeeseen verrattuna nopea tapa mitata kantavuutta. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

Pudotuspainokoe laitteita on olemassa kannettavia kuten esimerkiksi Loadman II sekä suurempia laitteita, kuten Heavy Loadman sekä KUAB-pudotuspainolaite. Suuret mallit ovat auton perässä vedettäviä yksiköitä. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

Suuret yksiköt kuormittavat mitattavan rakenteen pintaa 50 kN voimalla 300 mm halkaisijaltaan olevalla levyllä, joka on Loadmanin tapauksessa jäykkä ja KUAB:in tapauksessa taipuisa. KUAB mittaa kuormituslevyn keskipisteestä kiihtyvyyssanturin avulla painuman ja geofoneilla kuormituksesta aiheutuvan kuormitusimpulssin, jonka avulla määritetään taipumasuppilo. Loadman puolestaan mittaa kuormituslevyn keskeltä kiihtyvyyssanturilla pudotuspainon aiheuttaman kiihtyvyyden sen osuessa kuormituslevyyn. E muodonmuutosmoduuli lasketaan integroidusta anturin mittaustuloksesta taipumaksi. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

Kannettavissa yksiköissä mittaus tapahtuu 10 kg painon avulla, joka pudotetaan 800 mm korkeudesta kuormituslevylle. Yleisesti käytettyjä kuormituslevyn kokoja on 132 mm, 200 mm ja 300 mm. Laite mittaa kiihtyvyyssanturilla kuormituksen aiheuttaman painuman. Boussinesqin teorian mukaan mitä suurempi kuormituslevy sitä suurempi on laitteen tehollinen mittaussyvyys, mutta laitteen koosta johtuen mittauksen vaikutus ei yllä kovin syväälle rakenteeseen, sillä suurta kuormituslevyä käyttämällä muodonmuutos jää alhaiseksi. (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011.)

Kannettavalla yksiköllä mitattaessa tulee kuormituslevyn olla koko pinta-alaltaan kiinni mittauspinnassa sekä laitteen tulee olla 3° sisällä pystysuorasta, jotta laite antaa todenmukaisen tuloksen. Loadman laskee automaattisesti E-muodonmuutosmoduulin yksikössä Mega Pascalia, mitatun painuman millimetreinä sekä tiivistyssuhteen, jotka tallennetaan Loadmanin muistiin. Mittauksia jatketaan samasta kohteesta, kunnes E-muodonmuutosmoduuli on vakioitunut, joka tyypillisesti vaatii 4–6 mittauskertaa. Loadmanin mitatuista tuloksista lasketaan kaavalla 9 maksimikuormitus sekä kaavalla 15 tiivistyssuhde (Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011). (AI-engineering 2015.)

8 AINEISTON KÄSITTELY

Aineiston käsittelyyn liittyvät asiat käydään 3D-Win-ohjelmiston näkökulmasta, koska se on MittausGroup Oy:n pääasiallinen aineiston käsittely ohjelma. Aineistot käsitellään hankkeen vaatimusten mukaisesti. Tarketiedostojen kohteiden koodit, pinnat, viivat, pisteet sekä muut hankkeen vaatimat tiedot täydennetään ja muutetaan kohteen vaatimusten mukaiseksi. Pistetietojen kentät ovat T1 pinta, T2 viiva, T3 lajikoodi, T4 pisteen tunnus sekä T5 ja T6, jotka ovat lisätieto kenttiä (Novatron 2022b).

T1 pintakoodia käytetään kohteiden pinnan tunnistamiseen. Pintakoodia käytetään kolmioverkon muodostuksessa, jossa kolmioverkko luodaan saman pintakoodin omaavien pisteiden välille. Kolmioverkkoa käytetään massalaskennoissa, jossa kahden pinnan välinen tilan tilavuus lasketaan ohjelmiston avulla. 3D-Win ohjelmassa käytettävät pintakoodit löytyvät taulukosta 18. 3D-Win-ohjelmaa käytettäessä pintakoodilla on merkitystä, sillä massoja laskiessa kallion pinta koodilla merkityt pinnat eivät voi olla maanpinnan koodeilla merkattujen pintojen yläpuolella. (Novatron 2022c.)

Taulukko 18. Pintakoodit 3D-Win.

Koodi	Pinta
1	Maanpinta
2	Kallio
3–5	Eri maalajit
6	Maalaatikko
7	Irti louhinta
9	Ei malliin
11	Alin rakenne tai leikkauspohja
10	Ylin yhdistelmäpinta
20	Alin yhdistelmäpinta
71–79	Muita maalajipintoja

T2 viivakoodia käytetään yhden yhtenäisen pistejonon tunnistamiseen. Ohjelma piirtää viiva automaattisesti pisteisen välille, jolla on sama viivatunnus, pisteiden mittausjärjestyksen perusteella. (Novatron 2022b.)

T3 lajikoodi määrittelee pisteen tai viivan lajin (Novatron 2022b). Käytännössä tämä tarkoittaa, että laji koodi määrittelee mitä piste tai viiva kuvaa tarkkeessa tai kartassa. Lajikoodi listat määrittelee hanke (Novatron 2022b). Mallit ja tarketiedostot koodataan hankkeen koodilistan mukaisiksi, jotta kaikki hankkeen tiedosto ovat keskenään yhteneviä. Kohteet jaetaan kohteiden perusteella eri tarketiedostoihin hankkeen ohjeiden mukaisesti.

T4 piste tunnus eli pisteen numero on tunnus, joka määrittelee pisteelle yksilöllisen tunnisteen (Novatron 2022b). Pistenumero on yleensä eteenpäin juokseva numero, jonka perusteella voidaan määrittellä pisteiden mittausjärjestys.

Tehdyt aineistot jaetaan tiedostoihin käyttäen suunnitelmien kansiorakennetta vastaavaa rakennetta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi vesihuollon suunnitelmassa olevat kohteet sijoitetaan samaan tarketiedostoon ja niitä säilytetään toteuman vesihuollon kansiossa. Kaikkia malleja ja tiedostoja tulisi säilyttää kansiorakenteessa siten, että ne ovat niistä vastaavilla paikoilla. Tiedostot nimetään hankkeen antaman ohjeen mukaisesti niiden sisällön tunnistamisen helpottamiseksi. (Buildingsmart 2021, 109.)

Rakennusaikaisten toteutusaineistojen tulee vastata rakennussuunnitelman sisältöä. Toteutusaineistoihin kuuluvat muun muassa paikalleen mittausaineistot, koneohjausmallit sekä työvaihekohtaiset ja työtekniiset mallinnukset. (Buildingsmart 2021, 115.)

9 LOPPUTUOTOKSET JA LUOVUTUS

Lopputulokset tulee muokata hankkeen ohjeiden mukaisesti, jotta kaikki hankkeen keräämät aineistot ovat yhdenmukaisia. Tällöin kaikki aineistot ovat keskenään yhteensopivia. Urakoitsijan tulee tarkastaa mittaushenkilöstön sekä koneohjausjärjestelmällä tehdyt toteumamittaukset eli takemittaukset. Tarkemittausten tulee vastata suunnitelman ja laatuvaatimusten asettamia rajoja. Kun aineistot ovat tarkastettu, annetaan ne tilaajan edustajalle hyväksyttäväksi. Joskus rakenteissa on suunnitelmien raja-arvojen ylittäviä poikkeamia, joita ei pystytä korjaamaan. Tällöin tilaaja tai tilaajan kanssa yhteistyössä tehdään poikkeamaraaportti, jossa analysoidaan rakennemuutoksen aiheuttamia vaikutuksia rakentamiseen. (Buildingsmart 2021, 125.)

Työmaata luovuttaessa tulee luovutusaineiston sisältää kaikista vaadituista kohteista toteumamallit ja -piirustukset, laadunvarmistusaineisto sekä niiden dokumentointi. Luovutettavat tiedot tulee olla toteumavaiheen pääjaon mukaisesti, ellei hanke muuta vaadi. Aineistolle luodaan aineistoselostus ja -luettelo, joka kuvaa aineiston sisältöä. Aineistoselostus sisältää hankkeen perustiedot, luovutusaineiston käyttötarkoituksen, käytetyt formaatit ja ohjelmistot, nimeämis- ja numeroimiskäytännöt sekä muut huomioitavat asiat (Buildingsmart 2021, 114). Aineistoluettelo toimii aineiston sisällysluettelona ja siihen jäsennellään kaikki luovutettavat tiedostot kansiorakenteen mukaisesti (Buildingsmart 2021, 114). (Buildingsmart 2021, 126.)

Ennen varsinaista luovutusta suoritetaan itselle luovutus. Itselle luovutuksessa varmistetaan luovutusaineiston kattavuus ja oikeellisuus. Tässä vaiheessa tarkastetaan kansiorakenne, aineistoselostus ja -luettelo tarkastetaan, jotta sisältö vastaa luovutettavaa aineistoa ja kaikki aineistot ovat nimetty oikein sekä oikeissa paikoissa. Toteumamallit tarkastetaan, jotta ne vastaava niille asetettuja vaatimuksia. Suunnitelmadokumentit ovat päivitetty toteumapiirroksien ja -dokumenttien laatimisella. Toteumadokumentit ja mallipohjainen aineisto vastaavat toisiaan sekä kaikki vaaditut laatudokumentit löytyvät luovutettavasta aineistosta. (Buildingsmart 2021, 130.)

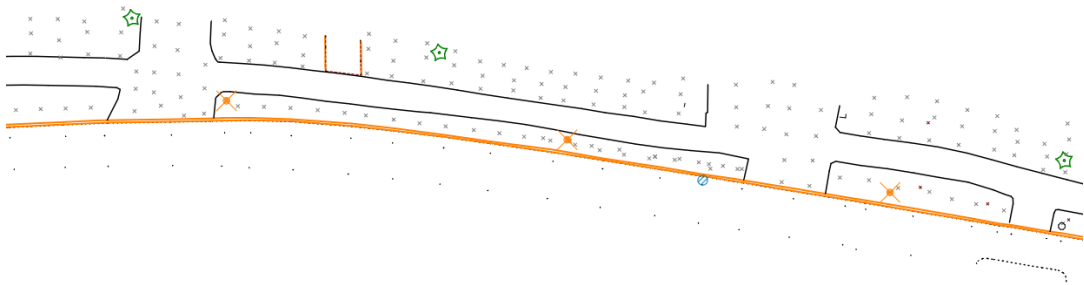
10 TOIMINNALLINEN OSUUS

Kohteessa rakennettiin uutta vesihuoltojärjestelmää, jonka yhteydessä saneerattiin kadun valaisinpylväät sekä lisättiin hankkeeseen liittyviä tele- ja sähköputkia. Uudet vesihuoltolinjat sijoittuvat jalankulkuväylän alapuolelle, joka kaivettiin auki. Työn jälkeinen jalankulku väylä tulisi vastata työn päätyttyä työtä edeltänyttä tilaa, joten kaikki vesihuoltolinjan rakentamisen vaikutusalueella joutuneet kohteet kartoitettiin. Vesihuoltolinjan kohteet sekä tele- ja sähkökaapelit kartoitettiin sitä mukaa kuin niitä rakennettiin.

10.1 Maastotietojen hankinta

Kohteesta haluttiin kerätä kaikki kadun ennalleen palauttamiseen vaadittavat tiedot. Kohteesta mitattiin päällysteiden reunat, kuten asfaltti ja mahdolliset kiveykset, valaisin- ja liikennevalopylväiden jalat, reunatuennan yläreunat ja alareuna, puut, kansistot sekä maan pinnan muodot. Mittauksen pisteväli oli noin 3 metriä ja mittaukset suoritettiin takymetrimittauksella käyttäen hankkeen mittausperustaa.

Mittausaineiston koodit ja pinnat tarkastettiin aineiston käsittelyn yhteydessä, jolloin myös tarkastettiin tiedoston kolmioverkon muodostus. Kun malli oli tarkastettu ja hyväksytty se luovutettiin hankkeelle, uuden pyörätien suunnittelua varten. Kuvassa 1 on osa käsitellystä mallista ilman kolmioverkkoa.



Kuva 1. Hankkeen koodeilla koodattu maastomalli ilman kolmioverkkoa.

10.2 Järjestelmän tarkemittaukset

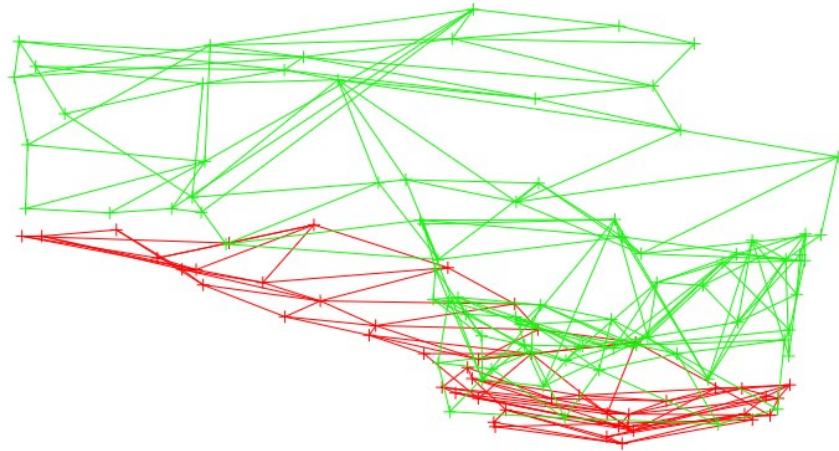
Kohteen uuteen vesihuoltojärjestelmään kuului uusi jäteviettoviemäri ja vesijohto. Hankkeella käytettiin viemäriputkia, joidenka kankien toisiinsa liittäminen tapahtui hitsaamalla. Viemärin tarkkeet otettiin hankkeen ohjeen mukaisesti vesijuoksu korkeudesta jokaisen hitsausauman kohdalta. Tämä venytti tarkkeen välin noin 22 metriin, joka oli viemäriputken pituus. Vesijohdosta tarkkeita otettiin tiuhempaan. Vesijohto ja sen laitteet mitattiin liitosten vierestä putken selästä ja venttiilit karan päältä. Mittaukset suoritettiin takymetrilla.

Jokaisen mittauskerran jälkeen, mittaustiedosto siirrettiin tietokoneelle ja sijoitettiin muokkaamattomana alkuperäisille tarkkeille tarkoitettuun kansioon. Näiden alkuperäisten mittaustiedostojen perusteella tehtiin toteumamalli, josta selvisi putkilinjojen taso- ja korkeussijainnit. Toteumamallin kohteet koodattiin hankkeen koodilistanmukaiseksi. Kyseisessä hankkeessa tarkkeet luovutettiin jokaisen kuun lopussa laskutus syistä.

10.3 Louhinta

Vesihuoltojärjestelmää rakentaessa jätevesilinjan linjalta löytyi kalliota useasta kohdasta, joka koron puolesta täytyi louhia. Hankkeella louhinnat laskettiin kuutioksi, joten eteen tulleet kalliot täytyi kartoittaa ennen ja jälkeen louhinnan. Louhinnoissa käytettiin kahta menetelmää kiilausta ja räjäyttämistä.

Kalliot tarkemittattiin siten että kallion muoto pystyttiin tarkastamaan tarkkeista. Tämän jälkeen kalliot louhittiin ja louhittu materiaali poistettiin kaivannoista. Louhitut kohdat tarkastettiin takymetria käyttäen kovien varalta ja tarkemittattiin, kun louhinnan onnistuminen oli todettu. Tarkkeiden pinnoista luotiin 3D-Win-ohjelmalla kaksi pintamallia kolmioimalla, joiden avulla louhinnan kuutiot laskettiin. Kuvassa 2 on kallion pinnan tarkemittauksista ja louhitun pinnan tarkkeista tehty kolmioverkot. Vihreä kolmioverkko on kallion pinta ja punainen louhittu pohja.



Kuva 2. Massalaskennan pintojen kolmioverkot.

10.4 Laserkeilaus

Tunnelissa suoritetusta louhinnoista täytyi tuottaa laserkeilaamalla toteumamalliin aineistoa. Kohde sijaitsi päätyvässä tunnelissa, jonka päätyyn oli louhittu pystysuora läpivienti prosessointihalliin. Tehtävänä oli suorittaa läpiviennistä laserkeilaus toteumamallia varten.

Keilaus suoritettiin neljässä osassa, jotta läpiviennin jokaisesta reunasta saatiin parasmahdollinen mittaustulos. Maastoon sijoitettiin kymmenen tähyslevyä siten, että jokaisessa keilaimen kojeasemassa, pystyttiin havaitsemaan vähintään neljästä eri suunnasta tähyksiä. Toisin sanoen tähyksiä pystyttiin havaitsemaan riskiin kojeasemasta katsottuna, jolloin tähysten jakauma mittauksen ympärillä on hyvä. Tähyksistä kerättiin sijaintitiedot takymetria käyttämällä ja tähyksiä ei siirrelty keilausten välissä tai aikana. Tämän jälkeen suoritettiin neljä keilausta läpiviennin jokaiselta reunalta.

Aineiston käsittely suoritettiin pistepilvien käsittelyyn tarkoitettulla ohjelmalla. Käsittely aloitettiin tuomalla aineisto ohjelmaan. Ohjelma pystyi tunnistamaan automaattisesti tähyksiä ja jokaisessa keilauksessa niitä oli tunnistettuna 8–10. Koska tähyksiä oli reilusti, poistettiin niistä epätarkimpia, kunnes haluttu tarkkuus saatiin pistepilvälle. Poiston jälkeen pistepilvissä oli vähintäänkin vielä viisi tähystä. Tähysten tunnistuksen jälkeen pistepilvi käännettiin tähysten mukaan koordinaatioon.

Kun pistepilvi oli käännetty, se tarkastettiin ja ylimääräiset osat poistettiin. Loppuloksena tuli pistepilvi, joka sisälsi vain läpivientikuilun seinät.

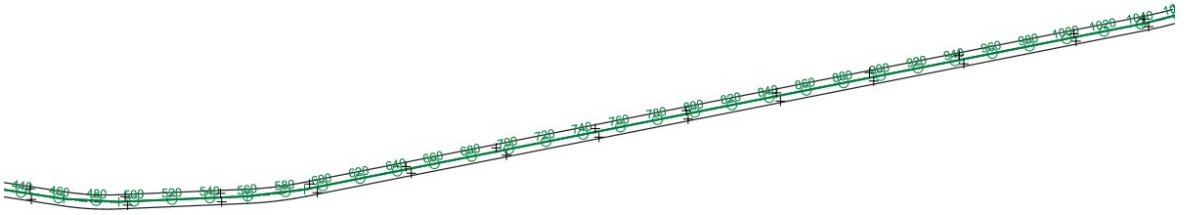
10.5 Kantavuusmittaukset

Kohde työmaalla rakennettiin kokoojakatua uudelle teollisuusalueelle. Kadun kantavan kerroksen asennus ja tiivistystyöt olivat tehty ja tarkoituksena oli suorittaa kantavuus kokeita levykuormituskokeina. Työ suoritettiin helmikuussa, jolloin sää olosuhteet eivät olleet otolliset kokeiden suorittamiselle. Levykuormituskokeet suoritettiin 30 senttiä halkaisijaltaan olevalla levyllä, jota painettiin pullotunkin ja vastapainon avulla kantavan pintaa vasten. Vastapainona toimi pyöräalustainen kaivinkone, jonka paino oli noin 15–20 tuhatta kiloa. Levypainokoe mittausjärjestelmä koostui levystä, pullotunkkia kannattelevasta kannakkeesta, mittakellosta, mittakellon tuesta ja pullotunkista. Asetelma on koottuna kuvassa 3.



Kuva 3. Levykuormituskoe kalusto.

Kuormituskokeet suoritettiin kadun kummaltakin kaistalta noin 50 metrin välein. Kuvassa 4 on merkitty mustilla risteillä, kuinka mittaukset sijoittuvat rakennettavaalle kadulle. Kuormituskoe aloitettiin asettamalla levyllä 3,5 kilo Newtonin esikuormitus. Esikuormitus poistettiin hetken kuluttua painuman loputtua. Tämän jälkeen mittakello nollattiin ja aloitettiin kuormituksen nosto 10 kilo Newtoniin. Kokeiden teossa hyödynnettiin automaattista Excel-taulukkoa, johon painumatiedot syötettiin. Kuvassa 5 on kuva taulukosta, jota käytettiin kokeiden suorittamisessa. Kun mittakellon viisari oli rauhoittunut ja painuminen silminnähden loppunut kirjattiin painuma ylös. Tämän jälkeen kuormitusta nostettiin 20 kilo Newtoniin ja kun painuminen oli loppunut, kirjattiin painuman arvot ylös. Sama toistettiin, kunnes kuormitus oli saatu nostettua 60 kilo Newtonin kuormitukseen. Kun 60 kilo Newtonin kuormituksen aiheuttamat painuma arvo oli saatu kirjattua ylös, päätettiin kuormitus pois.



Kuva 4. Levykuormituskokeen koe kohdat kadulla.

Toisen kierroksen alussa mittakellon luku kirjattiin ylös, jonka jälkeen kuormitus nostettiin 10 kilo Newtoniin. Toisen kierroksen kuormituksen nosto oli samanlainen kuin ensimmäisenkin. Kun toinen kuormituskierros oli käyty lävitse, tarkemmitattiin GPS-laitteella kuormituskokeen sijainti.

Kuormituskokeita tehtiin 640 metrin osuudella 26 kappaletta 50 metrin välein kummaltakin kaistalta. Kuvasta 4 näkyy kuormituskokeen sijainnit kartalla mittalinjan ja tienreunojen kanssa. Taulukossa 19 löytyy yhteenveto levykuormituskokeen tuloksista.

Taulukko 19. Levykuormituskokeiden tulosten yhteenveto.

koe nro.	Maksimikuormitus			InfraRYL 30/70		
	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E2/E1	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E2/E1
1	156,64	241,90	1,54	212,25	353,75	1,67
2	136,50	235,93	1,73	151,61	318,38	2,10
3	140,51	238,88	1,70	172,09	424,50	2,47
4	123,29	241,90	1,96	141,50	397,97	2,81
5	124,90	233,05	1,87	135,48	303,21	2,24
6	117,96	222,21	1,88	122,45	424,50	3,47
7	91,00	182,00	2,00	93,64	205,40	2,19
8	123,29	224,82	1,82	124,85	303,21	2,43
9	117,24	235,93	2,01	107,92	397,97	3,69
10	110,46	224,82	2,04	95,04	219,57	2,31
11	138,48	224,82	1,62	148,08	276,85	1,87
12	100,05	172,16	1,72	102,70	212,25	2,07
13	124,90	205,48	1,65	120,14	254,70	2,12
14	109,83	219,66	2,00	106,13	318,38	3,00
15	91,00	172,16	1,89	82,69	187,28	2,26
16	101,65	180,28	1,77	102,70	276,85	2,70
17	91,00	164,74	1,81	107,92	235,83	2,19
18	108,58	212,33	1,96	117,92	244,90	2,08
19	93,22	163,33	1,75	120,14	212,25	1,77
20	123,29	203,30	1,65	172,09	289,43	1,68
21	141,56	235,93	1,67	198,98	335,13	1,68
22	115,82	230,24	1,99	122,45	303,21	2,48
23	115,82	212,33	1,83	151,61	303,21	2,00
24	129,12	173,73	1,35	181,93	265,31	1,46
25	152,88	227,50	1,49	254,70	318,38	1,25
26	136,50	191,10	1,40	289,43	303,21	1,05

Hankkeen kantavuus vaatimus oli 160 mega Pascalia maksimikuormitus testissä. Kaikki levykuormituspisteet täyttivät vaaditut ehdot, mutta koe numero 19 on todella niukasti hyväksytty. Myös E_2/E_1 suhdearvot ovat hyväksyttäviä maksimikuormituskokeessa. Jos hankkeella käytettäisiin infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia koe 4, 6, 9 ja 14 olisivat hylättyjä ja katu vaatisi korjaustoimenpiteitä niiltä osin.

Kuormituskokeiden teon ajankohta sijoittui helmikuulle, jolloin ilmanlämpötila pysyi jatkuvasti pakkasen puolella. Tämä todennäköisesti vaikutti tehtyihin kuormi-

tuskokeiden tuloksiin nostamalla rakenteen jäykkyyttä. Tulosten luovutuksen yhteydessä raportoitiin myös ilman mahdollisesta vaikutuksesta kuormituskokeen tuloksiin.

Mittausgroup oy		LEVYKUORMITUSKOE				Työ nro:	
Asiakas					PISTE NRO: 1		
Hanke					X=		
Kohde					Y=		
Paaluluku/kaista 1043,5 oik					Z=		
TIVIST. KERROS		KERROSPAKSUUS		MATERIAALI		ms	
TIV.KONE		YLITYSKERRAT		SÄÄ/LÄMPÖTILA		4	
KANTAVUUSVAATIMUS:							160 Mpa
KOEPM		KOKOEN SUORITTAJA				LEVY 300 MM	
VAIHE	JÄNNITYS [KPA]	KUORMA P [KN]				KOKONAISS PAINUMAS [MM]	HUOMAUTUKSET
1. KUORMITUS	0	0				0,00	
	142	10				0,15	
	283	20				0,22	
	424	30				0,36	
	566	40				0,52	
	707	50				0,82	
	849	60				1,22	
2. KUORMITUS	0	0				0,00	
	142	10				0,12	
	283	20				0,21	
	424	30				0,28	
	566	40				0,39	
	707	50				0,51	
	849	60				0,79	
1. KUORMITUS		2. KUORMITUS					
k = 3.18 (levy 300)		E1 = k x P / S1 =		156 MPa		E1 = 156 MPa	
k = 2.12 (levy 450)		E2 = k x P / S2 =		242 MPa		E2 = 242 MPa	
k =		3,18				E2 / E1 = 1,5	
F (kN) = voima		Pvm					
s (mm) = painuma		Tark.					
E (MPa) = kantavuusarvo							

Kuva 5. Levykuormituskoe taulukko.

11 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda kuva infratyömaan mittaustyönjohdollisista työtehtävistä. Mittausalaa koskevat tiedot ovat vaikeasti löydettävissä eikä niissä anneta kovinkaan tarkkaa kuvaa mittausinsinöörien työtehtävistä. Varsinkin mittausalan ollessa varsin laaja ja monipuolinen ala.

Mittaustyönjohtaminen infratyömailla sisältää monenlaisia tehtäviä ja tämän opinnäytetyön sisältö viittaa vain niihin työmaihin, jotka käyttävät Väyläviraston ohjeistuksia. Mutta se antaa hyvän kuvan niistä tehtävistä, jota mittaustyönjohtamiseen kuuluu.

Opinnäytetyön painotus oli tarkoituksen mukaisesti tarkemittauksissa sekä laadunvarmistuksellisissa töissä, sillä jatkuvasti yleistyvät koneohjaus- ja automaatiojärjestelmät vähentävät työmaamittausten tarvetta. Opinnäytetyön pääasiallinen painotus oli mittausperustan luonnissa, tarkkeiden ottamisessa sekä kuormituskokeiden tekemisessä. Kyseisissä osa-alueissa on käyty varsin yksityiskohdallisestikin kaavoja ja menetelmiä lävitse ymmärryksen parantamiseksi.

Opinnäytetyön teon yhteydessä tullut oppimiskokemukset liittyvät suurimmalta osin mittausten suorittamiseen sekä niissä vaadittaviin seikkoihin. Näihin kuuluvat muun muassa tarkemittausten yhteydessä tehtävät vaatimusten täyttymisen tarkastelu sekä niiden täyttymisen puutteiden ilmoittaminen. Myös aineistojen muokkaus luovutus muotoon on ollut varsin opettavainen kokemus. Kun opinnäytetyö aloitettiin, oli sen kirjoittajalla aiempaa työkokemusta infrarakentajana, joka toi hyvän ymmärryksen infrarakentamisen vaiheista ja kohteista.

LÄHTEET

- AL-Engineering. 2015. Loadman 2. Kannettava pudotuspainolaite muistilla. AL-Engineering Oy. Viitattu 20.02.2022. <https://www.al-engineering.fi/downloads/loadman2-k%C3%A4ytt%C3%B6ohje.pdf>
- InfraRYL 2022a. 16100 Maaleikkaukset. 10000 Maa-, pohja- ja kalliorakenteet. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- InfraRYL 2022b. 21100 Suodatinrakenteet. 20000 Päällys- ja pintarakenteet. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- InfraRYL 2022c. 21210 Jakavat kerrokset. 20000 Päällys- ja pintarakenteet. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- InfraRYL 2022d. 21300 Kantavat kerrokset. 20000 Päällys- ja pintarakenteet. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- InfraRYL 2022e. 21400 Päällysteet ja pintarakenteet. 20000 Päällys- ja pintarakenteet. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- InfraRYL 2022f. 17000 Päällysteet ja pintarakenteet. 10000 Maa-, pohja ja kalliorakenteet. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- InfraRYL 2022g. 31000 Vesihuollon järjestelmät. 30000 Järjestelmät. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- InfraRYL 2022h. 44000 Perustukset ja tukirakenteet. 40000 Rakennustekniset rakennusosat. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- InfraRYL 2022i. 45000 Ympäristörakenteet. 40000 Rakennustekniset rakennusosat. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.

InfraRYL 2022j. 33000 Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät. 30000 Rakennustekniset rakennusosat. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.

InfraRYL 2022k. 34000 Lämmön- ja kaasunsiirtojärjestelmät. 30000 Rakennustekniset rakennusosat. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto.

JHS 184. 2017. Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Viitattu 26.02.2022.

Joala. V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Nilomark Oy. Viitattu 15.05.2022. http://www.tiigi.ee/mm/skanner/jutud/HDS_11_2006_Vahur_Joala.pdf

Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja P. 2011. Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus. Väylä. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2011-10_radan_eristys_web.pdf

Sikiö J. 2020. Kadun rakennekerrokset ja materiaalit. Katu2020. Viitattu 04.05.2022. <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/kadun-rakennekerrokset-ja-materiaalit/>

Leppänen, S. & Niskala, S. 2016. Koneohjausmallin tuottamisen perusohje. Lapin ammattikorkeakoulu.

Laurila, P. & Heimonen, T. 2017. Kiintopistemittausten laskenta. Lapin ammattikorkeakoulu. PowerPoint. Viitattu 05.03.2022.

Laurila, P. & Heimonen, T. 2019. Kiintopistemittaukset. Mittausten suunnittelu. Lapin ammattikorkeakoulu. PowerPoint. Viitattu 06.03.2022.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Lapin ammattikorkeakoulu. Painos 4.

Novatron. 2022a. Mitä on koneohjaus. Viitattu 1.4.2022. <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>

Novatron 2022b. 3D-Win. Perusohje. Versio 6.7. Novatron.

Novatron 2022c. 3D-Win. Maastomalliohje. Versio 6.8. Novatron.

Taulukot 2022. SI-järjestelmä. Viitattu 19.2.2022. <https://www.taulukot.com/fysiikka/si-jarjestelma/>

Väylä. 2008. Tienrakentamisen mittaus suunnitelman laatimisohje. Väylävirasto. Viitattu 26.03.2022. https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2000024-v-08tienrakent_mittausuunn_laot.pdf

Väylä 2017. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot. Mittausohje. Väylävirasto. Viitattu 20.02.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf

Väylä 2021. Louhintaa ja räjäytyksiä tietyömailla. Väylävirasto. Viitattu 25.04.2022. <https://vayla.fi/ymparisto/melu-tarina/louhinnat>

Buildingsmart 2021. Yleiset inframallivaatimukset. Buildingsmart.